



tumi
E-Bus Mission

ICLEI
Governos Locais
pela Sustentabilidade

PROPUESTA DE RUTA PILOTO DE BUSES ELÉCTRICOS EN MANIZALES

HACIA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE E INTEGRADA
2025



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



UITP ADVANCING
PUBLIC
TRANSPORT

**WORLD
RESOURCES
INSTITUTE**

On behalf of

 Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development

Esta Propuesta de Ruta Piloto de Buses Eléctricos en Manizales es la culminación del trabajo realizado bajo la iniciativa TUMI E-Bus Mission con el objetivo de apoyar a la ciudad en su transición hacia flotas de buses eléctricos. Representa el resultado final de un proceso de trabajo con la ciudad y visita técnica. Se realizó a través de la recopilación de datos y la modelización de una propuesta de ruta piloto.

Autoridades Municipalidad de Manizales

Jorge Eduardo Rojas Giraldo – Alcalde de Manizales

Autoridades ICLEI América del Sur

Rodrigo Perpétuo – Secretario Ejecutivo ICLEI América del Sur

Rodrigo Corradi – Secretario Ejecutivo Adjunto de ICLEI América del Sur

Autoridades ICLEI Colombia

Alejandro González Valencia – Director de ICLEI Colombia

Equipo editorial

Desarrollo de contenido: Juan Esteban Martínez – Consultor ICLEI

Revisión de contenidos: Leticia Sibinelli Borges y Stephania Aleixo de Paula e Silva (ICLEI SAMS), María Alejandra Palacio (ICLEI COL), Ana María Cruz Ochoa y Tu-my Tran (ICLEI WS), Leonardo Leal García (Alcaldía de Manizales)

Diseño

Gustavo Barboza – ICLEI SAMS



Sobre la iniciativa TUMI E-Bus Mission

Financiada por el Ministerio alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) e implementada por un grupo de organizaciones que incluye a ICLEI – Gobiernos Locales por la Sostenibilidad, C40 Cities, la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), el Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT), el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), la Asociación Internacional de Transporte Público (UITP) y World Resource Institute (WRI), esta iniciativa busca acelerar la transición a los buses eléctricos en el hemisferio sur.

TUMI E-Bus Mission avanza hacia un futuro de transporte urbano sostenible fomentando la creación de coaliciones globales y específicas para cada ciudad. Centrándose en 20 ciudades e inspirando a 100 más, les proporciona hojas de ruta y asistencia técnica para apoyar su transición hacia flotas de autobuses eléctricos. Al reunir a socios de los sectores público y privado, se creó una comunidad mundial para impulsar esta importante transformación hacia ciudades más limpias, ecológicas y habitables.

Sobre ICLEI – Gobiernos Locales por la Sustentabilidad

ICLEI – Gobiernos Locales por la Sustentabilidad es una red global que trabaja con más de 2,500 gobiernos locales y regionales comprometidos con el desarrollo urbano sostenible. Activo en más de 125 países, ICLEI influye en la política de sostenibilidad y promueve la acción local para un desarrollo bajo en emisiones, basado en la naturaleza, equitativo, resiliente y circular. Los miembros y el equipo de expertos de ICLEI trabajan juntos a través del intercambio entre pares, asociaciones y desarrollo de capacidades para crear un cambio sistémico hacia la sostenibilidad urbana.

Copyright

COPYRIGHT © 2025 ICLEI – Gobiernos Locales por la Sustentabilidad e.V. Todos los derechos reservados. ICLEI América del Sur posee los derechos de autor de esta publicación, incluidos textos, análisis, logotipos y diseños. Las solicitudes para reproducir o citar material en parte o en su totalidad deben enviarse a los correos electrónicos que se indican a continuación. ICLEI fomenta el uso y la difusión de esta publicación, y generalmente se permitirá reproducir este material sin modificaciones sin cargo alguno para uso no comercial.

Contacto

ICLEI – Local Governments for Sustainability
Kaiser-Friedrich-Str. 7
53113 Bonn | Germany
www.iclei.org

ICLEI América del Sur
Rua Marquês de Itu, 70 – 14º piso
01223-000 | São Paulo | SP | Brazil
www.americadosul.iclei.org

ICLEI Colombia
Tecnoparque, Cra. 46 #56-11 – Piso 17
Medellín | Colombia



Contenido

1. Introducción	6
2. Marco normativo	7
2.1. Políticas locales y nacionales	7
2.2. Alineación con objetivos climáticos	12
3. Diagnóstico actual de la movilidad y el transporte público	13
3.1. Análisis modal y cobertura	13
3.2. Perfil de usuarios	24
4. Impactos ambientales	26
5. Justificación del Transporte eléctrico	27
5.1. Beneficios técnicos, ambientales y sociales	27
5.2. Referencias nacionales e internacionales	29
6. Análisis de Demanda y Oferta	32
7. Diseño de la Ruta Piloto Eléctrica	33
7.1. Criterios de selección	33
7.2. Recorrido Propuesto	35
7.3. Estimación de buses y cargadores requeridos necesarios para operación:	37
7.4. Estaciones clave e integración:	39
7.5. Infraestructura de patios y de carga	39
7.6. Tipos de vehículos eléctricos	40
8. Alternativas Tecnológicas y Modelos Operativos	41
8.1. Modelos de operación para Buses Eléctricos en Manizales	42
8.2. Estimación referencial de inversión inicial (CAPEX)	45
9. Estrategias de implementación	46
9.1. Fases	47
10. Resumen estratégico para tomadores de decisión	47
11. Conclusiones	49
12. Recomendaciones	51
13. Anexos	52
14. Referencias	52



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Viajes Motorizados y No Motorizados	13
Ilustración 2: Distribución modal de viajes	14
Ilustración 3: Mapa general de rutas y polos económicos	15
Ilustración 4: Paradero transporte público con caseta	18
Ilustración 5: Patio Socobus – Villa Pilar	19
Ilustración 6: Propuesta de patios y Talleres (POT 2017)	20
Ilustración 7: Líneas 1, 2 y 3 del sistema de cables de Manizales	22
Ilustración 8: Distribución de viajes por motivos	23
Ilustración 9: Diagnóstico del Transporte Público Colectivo en el área de influencia del SETP Manizales–Villamaría	31
Ilustración 10: Recorrido base: Villa Pilar – Sultana – Fundadores – Av. Santander – La Cumbre – Minitas	34

Índice de Tablas

Tabla 1: beneficios técnicos, económicos y sociales del transporte público eléctrico	27
Tabla 2: Buses eléctricos en ciudades en el mundo	30
Tabla 3: Estimación de buses y cargadores – cálculos operacionales ruta eléctrica	36
Tabla 4: Estimaciones clave e integración	38
Tabla 5: Resumen modelos operacionales	42
Tabla 6: Modelos de operación estratégicos para Manizales	43
Tabla 7: Estimación referencial inversión inicial	44
Tabla 8: Resumen beneficios e impactos esperados	46
Tabla 9: Recomendaciones y acciones	49



1. Introducción

El Plan Maestro de Movilidad de Manizales (PMM), formulado en 2017, establece una hoja de ruta estratégica para lograr una movilidad sostenible, equitativa y moderna en la ciudad. Su visión al 2032 propone una movilidad incluyente y segura, que integre diversos modos de transporte, garantice el acceso equitativo a oportunidades, promueva el uso racional del suelo y se articule con el espacio público y la estructura ecológica de Manizales. El plan se estructura en seis pilares fundamentales:

1. Una ciudad conectada con la región y el país: propone fortalecer los corredores de transporte de carga, sistemas de información intermunicipal, y accesos a zonas turísticas mediante infraestructura adecuada.
2. Una movilidad saludable y sostenible: impulsa ciclo infraestructura, zonas de bajas emisiones, rutas escolares seguras y calles compartidas.
3. Un sistema de transporte público eficiente, accesible y asequible: contempla el fortalecimiento del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), cables aéreos, carriles preferenciales, terminales, paraderos con espacio público e integración tarifaria.
4. Un tránsito ordenado, fluido y seguro: con acciones de control vial, estacionamientos regulados, modernización semafórica y campañas de educación ciudadana.
5. Una red de transporte articulada con el entorno natural y construido: incorpora bulevares, corredores verdes, parques lineales, estaciones verdes y uso eficiente del espacio público.
6. Una ciudad moderna e inteligente: promueve el uso de sistemas de información centralizados, datos abiertos y herramientas tecnológicas para la gestión de la movilidad.

Esta propuesta representa el primer ejercicio técnico de una ruta piloto de transporte público eléctrico en Manizales. Si bien se alinea con los instrumentos de planificación vigentes (POT, PMM, Plan de Acción Climática 2050 y diseño conceptual de reestructuración del transporte público, hasta la fecha no cuenta con respaldo institucional explícito por parte del gobierno local o las empresas operadoras, dado que esta es la primera vez que se plantea una intervención de este tipo con este nivel de profundidad técnica y operativa. No obstante, el hecho de que esta iniciativa se articule con los lineamientos de dichos instrumentos y se socialice en espacios técnicos y estratégicos, puede interpretarse como una apertura institucional para avanzar hacia este tipo de intervenciones con mayor profundidad técnica y operativa.

La implementación de esta ruta piloto se ve favorecida por varios condicionantes estratégicos:



- Disponibilidad de infraestructura existente, como el patio de Socobuses en Villa Pilar, paraderos, buen estado de malla vial y sistemas de cables ya operativos (Fundadores, Cábmulos, Villamaría), que permitirían una integración modal eficiente.
- Condiciones topográficas desafiantes pero compatibles con buses eléctricos modernos, ya validadas en ciudades similares como Bogotá y Cali.
- Capacidad institucional y técnica acumulada gracias al acompañamiento de actores como ICLEI.
- Plan de Desarrollo 2024–2027, que incluye acciones de modernización del transporte y promueve la sostenibilidad urbana.
- Marco climático ambicioso, reducción de las emisiones de GEI para 2050.

Además, existen oportunidades concretas para su futura implementación:

- Acceso potencial a cooperación internacional y fondos climáticos, gracias al posicionamiento de Manizales como ciudad piloto en redes globales.
- Demanda de movilidad en crecimiento, especialmente en corredores densamente poblados y conectados con zonas urbanas de vivienda, universitarias, hospitalarias y comerciales principalmente.
- Oportunidad ciudadana y ambiental para mejorar la calidad del aire, reducir el ruido urbano y ofrecer alternativas más limpias y accesibles de transporte.

El objetivo de este documento, por tanto, no es presentar un proyecto aprobado, sino construir una base técnica rigurosa y coherente con información secundaria que permita su validación por parte de actores estratégicos como la Alcaldía de Manizales, la Secretaría de Movilidad, operadores de transporte, universidades, y aliados internacionales como ICLEI y TUMI. A través de esta propuesta se busca facilitar la toma de decisiones informadas, generar consensos institucionales y abrir la puerta a la estructuración del proyecto y fuentes de financiación pública y cooperación internacional para su materialización.

2. Marco normativo

2.1. Políticas locales y nacionales

Contexto Nacional:

La transición hacia una movilidad sostenible y eficiente es uno de los pilares estratégicos para mitigar el cambio climático, mejorar la calidad del aire y avanzar hacia un desarrollo económico bajo en carbono. El transporte, que representa el 37,6% del consumo energético nacional y es responsable de una parte significativa de las emisiones de



gases de efecto invernadero (GEI), ha sido identificado como un sector prioritario para esta transformación.

Compromisos internacionales y marcos normativos:

Colombia ha alineado su marco legal con acuerdos internacionales como:

- Acuerdo de París (Ley 1844 de 2017) y las NDC, que comprometen al país a reducir en un 51% sus emisiones de GEI para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono en 2050.
- Convenio de Estocolmo (Ley 1196 de 2008), que promueve la reducción de contaminantes orgánicos persistentes (COPs), muchos de ellos derivados de combustibles fósiles en el transporte.
- Agenda 2030 y ODS, implementada mediante el CONPES 3918 de 2018 y el Decreto 280 de 2015.

Legislación nacional clave:

- Ley 1964 de 2019: Promueve el uso de vehículos eléctricos o cero emisiones:
 - Requisitos de cuota mínima de adquisición para entidades públicas (30%)
 - Metas de infraestructura de carga.
 - A partir de 2035, mínimo el 100% de los vehículos adquiridos para ciudades con sistemas de transporte masivo
- Ley 1972 de 2019: Establece que:
 - Obligación de tecnologías Euro VI para vehículos nuevos desde 2023 y en circulación desde 2035.
- Ley 2169 de 2021: Integra los compromisos climáticos nacionales, impulsa el uso de vehículos eléctricos, a gas y de bajas emisiones, y refuerza la planeación climática sectorial.
 - Cuotas mínimas del 30% de vehículos a gas en transporte público, carga y servicio especial desde 2022.

Planificación climática y energética:

- Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales (PIGCCS) para el transporte: incluyen estándares de eficiencia, etiquetado energético, programas de renovación vehicular, electrificación, combustibles alternativos, y sistemas de monitoreo de emisiones.
- Estándares de eficiencia energética vehicular, adoptados por el Ministerio de Minas y Energía y UPME, establecen metas para el rendimiento de las flotas y promueven la electrificación.



Estudio de ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional – UPME

- A 2030, incorporar cerca de 1,21 millones de vehículos de cero y bajas emisiones.

Documentos CONPES que impulsan la movilidad eléctrica:

El CONPES 3934 de 2018, “Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica”, es el documento de política pública que establece la hoja de ruta para la promoción, adopción y masificación de la movilidad eléctrica en Colombia. Su propósito es contribuir al cumplimiento de los compromisos ambientales del país, mejorar la calidad del aire y fomentar una transición energética sostenible en el sector transporte.

- Incorporar 600.000 vehículos eléctricos al 2030.

CONPES 3918 de 2018, “Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)” donde la movilidad eléctrica es vista como una herramienta para alcanzar metas en ciudades sostenibles, acción por el clima y energía asequible y no contaminante.

CONPES 4023 de 2020, “Política de Crecimiento Verde” promueve la transición energética y la movilidad sostenible, con énfasis en la electrificación del transporte y el uso de tecnologías limpias.

CONPES 4034 de 2021, “Política para la Reactivación, Reindustrialización y Crecimiento Sostenible” apoya la industria nacional de ensamblaje y componentes para vehículos eléctricos, así como la infraestructura de recarga como sector estratégico para la reindustrialización verde.

CONPES 4075 de 2022, “Política Nacional de Transición Energética Justa” establece como una de las líneas de acción la electrificación del transporte público y privado, con fomento a tecnologías de bajas emisiones, estaciones de recarga y políticas de acceso equitativo.

La ley Ley 2294 de 2023, la cual expide El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022–2026 de Colombia, “Colombia, Potencia Mundial de la Vida”, establece una hoja de ruta ambiciosa para transformar el sistema de transporte hacia modelos más sostenibles, con un énfasis especial en la movilidad eléctrica y la descarbonización del sector:

- Electrificación del transporte público: El PND prioriza la transición hacia flotas de transporte público con tecnologías de cero y bajas emisiones, promoviendo la adopción de vehículos eléctricos en sistemas cofinanciados por la Nación, taxis, transporte de carga y volquetas.



- Fondo de Ascenso Tecnológico: Se está estructurando un fondo destinado a articular, focalizar y financiar planes y proyectos que reduzcan la contaminación ambiental mediante el ascenso tecnológico de las flotas de transporte.
- Cofinanciación de flotas eléctricas: El PND contempla la posibilidad de que el Gobierno Nacional cofinancie hasta el 70% de la adquisición de flotas de buses eléctricos, como parte de las estrategias para promover la movilidad sostenible en las ciudades.
- Movilidad activa y sostenible: Se impulsa la Estrategia Nacional de Movilidad Activa (ENMA), que busca aumentar los viajes en bicicleta y a pie, mejorar la infraestructura para peatones y ciclistas, y fomentar hábitos de movilidad saludables.
- Desarrollo Orientado al Transporte (DOT): El PND promueve la planificación urbana que integra el transporte sostenible con el uso del suelo, buscando mejorar la accesibilidad y reducir la dependencia del automóvil privado.

Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica – ENME

La ENME, formulada en 2019 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Transporte y la Unidad de Planeación Minero-Energética busca acelerar la penetración de vehículos eléctricos en Colombia para que permita, de manera proactiva, reducir emisiones en el sector transporte.

Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia

Hoja de Ruta del Hidrógeno y políticas complementarias impulsan la introducción de tecnologías alternativas con bajas emisiones. Introducir 1500–2.000 vehículos ligeros y entre 1000–1500 vehículos pesados de pila de combustible.

Contexto local:

La ciudad de Manizales no cuenta con una política pública específica orientada a la electrificación del transporte público, sin embargo, sí dispone de instrumentos de planificación clave como el Plan de Ordenamiento Territorial (2017–2037), el Plan Maestro de Movilidad (2017) y el diseño de reestructuración del transporte público y el Plan de Acción Climática (2022). Estos instrumentos orientan la gestión territorial y del transporte desde una perspectiva de sostenibilidad, aunque no contemplan aún metas concretas de transición tecnológica o electrificación de flota.

No obstante, estos marcos permiten identificar oportunidades estratégicas para el avance hacia una movilidad baja en carbono. La priorización de corredores de alta demanda, la planificación de rutas intermodales y la proyección de infraestructura de patios y paraderos en puntos estratégicos abren la posibilidad de iniciar pilotos de buses eléctricos y escalar su implementación gradualmente.



La experiencia de Cali, documentada por el BID (Castillo et al., 2021), muestra cómo una ciudad intermedia en Colombia logró integrar buses eléctricos al sistema de transporte masivo MIO, superando desafíos operacionales, técnicos y de planificación. Entre estos destacan la definición de estándares de carga, el diseño de electro terminales, la capacitación de personal y el monitoreo especializado de flota. Este aprendizaje es valioso para Manizales, dado que también cuenta con un sistema de cable aéreo, condiciones topográficas particulares y planes de renovación de flota en proceso.

En este contexto, Manizales se encuentra en un punto de inflexión. Los aprendizajes de Cali, las metas de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y la evidencia internacional sobre los beneficios de la electromovilidad, ofrecen una hoja de ruta para que la ciudad estructure una política local integral de electrificación del transporte público, respaldada por estudios técnicos, pilotos de validación tecnológica y un marco normativo progresivo que incentive la inversión público-privada.

En el Plan de Desarrollo Municipal 2024–2027, se identifican varias disposiciones que evidencian la intención del gobierno local de avanzar hacia un sistema de transporte público eléctrico, así como de consolidar una movilidad sostenible e integrada para Manizales.

Concretamente, el Subprograma 3.2.2: Sistemas de Transporte Público dentro de la Línea Estratégica 3: Desarrollo Físico y Ambiental, plantea la implementación de un plan anual para promover el uso del transporte público, adaptando zonas de transición entre medios de transporte y aumentando la demanda del sistema de cable aéreo, con una meta de 12.500 viajes diarios para 2027.

A pesar de no haber aún metas concretas de transición tecnológica o electrificación de flota, estas políticas locales se alinean con la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, que impulsa a las ciudades a estructurar pilotos y definir hojas de ruta hacia sistemas de transporte limpios.

Cabe destacar que Manizales forma parte de ICLEI – Gobiernos Locales por la Sostenibilidad, red internacional que impulsa acciones climáticas y de desarrollo urbano bajo en carbono. En este marco, la ciudad ha sido reconocida como ciudad piloto del programa EcoLogistics, orientado a una logística urbana y movilidad más limpia. También ha sido incluida en estudios y mapeos de C40 Cities, especialmente en el informe de autobuses eléctricos en América Latina (2023), lo cual refuerza su visibilidad como ciudad comprometida con la descarbonización del transporte.

Además, en la sección de Acciones Estratégicas del Programa de Movilidad, se indica que la administración:



- Gestionará con empresas transportadoras y actores de la movilidad la definición de las características del sistema de transporte público integrado, promoviendo su electrificación y modernización.
- Buscará inversiones y cooperación nacional e internacional para apoyar dicha transformación.
- Apoyará la implementación de tarifas diferenciales para grupos poblacionales específicos como estudiantes.
- Ejecutará proyectos de cicloinfraestructura y movilidad alternativa, contribuyendo así a la sostenibilidad del sistema.

Por último, el plan enfatiza en la armonización del Plan de Movilidad con el POT, con el objetivo de garantizar coherencia entre la infraestructura, el uso del suelo y la sostenibilidad ambiental del territorio (Artículo 2).

2.2. Alineación con objetivos climáticos

La electrificación del transporte en Manizales se alinea con los objetivos climáticos y ambientales del municipio, así como con los compromisos nacionales de Colombia frente al cambio climático. A nivel nacional, el país ha asumido metas ambiciosas a través de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), como la reducción del 51 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al año 2030 y alcanzar la carbono-neutralidad a 2050. Estos compromisos orientan tanto las políticas sectoriales como las acciones locales para una transición justa y sostenible.

En el ámbito municipal, El Plan de Acción Climática (2022), el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático (PIGCC) y el Plan de Desarrollo 2024-2027 aprobado a través del Acuerdo 1162 de 2024 integran la movilidad baja en carbono dentro de una visión resiliente del desarrollo urbano.

En particular, el Plan Manizales por la Acción Climática 2050, adoptado mediante el Decreto 0265 de 2022, establece la meta ambiciosa de reducir en un 92,4 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al año 2050, con hitos intermedios de 3 % de reducción en 2023 y 26 % para 2030. Este plan se estructura en cinco ejes estratégicos, entre ellos la movilidad baja en carbono, y propone líneas de acción como:

- Masificación de tecnologías limpias en el transporte.
- Promoción del cable aéreo como modo de transporte sostenible.
- Implementación de flotas eléctricas en el sistema de transporte público.

El Subprograma 3.1.4 de Gestión del Cambio Climático y Calidad del Aire impulsa además el uso de energías limpias, la mitigación de emisiones y la eficiencia energética.

Uno de los argumentos más contundentes para acelerar la transición hacia rutas eléctricas en Manizales es la crisis de calidad del aire. Según el Boletín de Calidad del



Aire 2022 (Unal & Corpocaldas), los buses y camiones diésel son responsables del 56% de las emisiones de PM10 y el 24% de las de PM2.5, a pesar de representar solo el 3,2% del parque automotor. Las estaciones de monitoreo como Milán, Gobernación y Liceo registran concentraciones promedio de PM10 superiores a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, superando las recomendaciones de la OMS, que establece límites de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10 y 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5 (OMS, 2022).

La exposición crónica a estos contaminantes está asociada a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y muertes prematuras, especialmente en grupos vulnerables como adultos mayores y niños. La electromovilidad, al eliminar las emisiones locales, puede tener un impacto inmediato en la salud pública, reducir costos del sistema de salud y mejorar la calidad de vida urbana.

Por tanto, la transición a flotas eléctricas no solo responde a compromisos internacionales, sino también a una urgencia en salud y ambiental local, alineada con la visión de Manizales como ciudad resiliente y climáticamente responsable.

3. Diagnóstico actual de la movilidad y el transporte público

3.1. Análisis modal y cobertura

Manizales es una ciudad intermedia, con una población estimada de 457.022 habitantes (DANE, 2024), ubicada en la región andina central de Colombia, capital del departamento de Caldas, y reconocida por su vocación universitaria, su dinámica cultural y su resiliencia territorial (Alcaldía de Manizales, 2024).

La ciudad se ha consolidado como un nodo socioeconómico y logístico clave del Eje Cafetero, gracias a su conectividad regional, su infraestructura educativa que incluye más de siete universidades y su potencial para la innovación y el emprendimiento. Manizales ocupa históricamente los primeros lugares en calidad de vida entre las ciudades capitales del país y ha liderado indicadores de desempeño institucional, sostenibilidad y competitividad (Alcaldía de Manizales, 2024; POT, 2017).

Sin embargo, también enfrenta importantes desafíos relacionados con su geografía montañosa, la expansión urbana fragmentada, las externalidades negativas del transporte y la necesidad de fortalecer la integración modal en su sistema de movilidad.

El sistema de movilidad urbana en Manizales es considerado un sistema estructurante del territorio. Está compuesto por modos de transporte, infraestructura vial, estacionamientos y espacio público, con el objetivo de garantizar la movilidad y

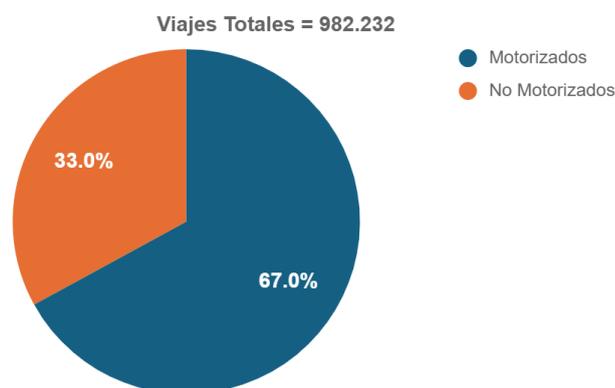


accesibilidad dentro del suelo urbano y su articulación con las centralidades. El sistema se estructura en dos subsistemas: el subsistema vial y el subsistema de transporte. El primero comprende la red vial arterial urbana y complementaria, clasificadas en vías principales, secundarias, locales, peatonales y paisajísticas. El segundo se encarga de integrar la infraestructura operativa de transporte, como estaciones, paraderos, y sistemas de control, garantizando conectividad y eficiencia para los usuarios (POT Manizales, 2017).

Manizales presenta una creciente congestión vehicular, asociada al aumento de la tasa de motorización, que pasó de 254 a 487 vehículos por cada 1.000 habitantes entre 2011 y 2021.

En cuanto a la movilidad, según los datos de la Encuesta de Hogares de 2017, en Manizales y su área de influencia (zona urbana y rural de Manizales y también los municipios de Neira, Villamaría y Palestina) en ese año se realizaron 982.232 viajes diarios. De este total, el 33% se hace en medios no motorizados y el 67% en medios motorizados (Steer Davies & Gleave, Encuesta de hogares, 2017).

Ilustración 1: Viajes Motorizados y No Motorizados



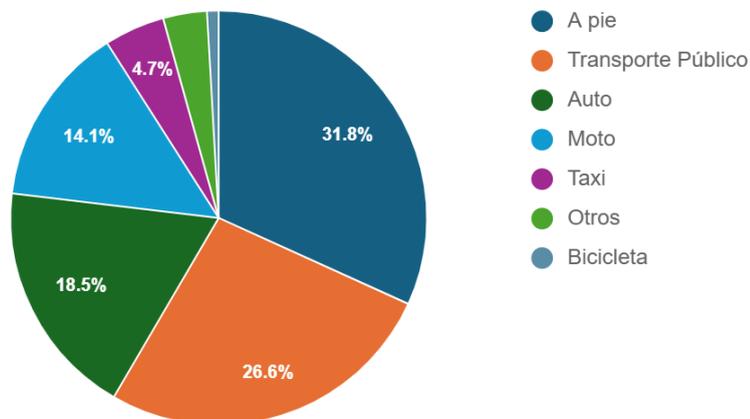
Fuente: Steer Davies & Gleave, Encuesta de hogares, 2017

En Transporte Público Colectivo se realizaron el 26,6% de los viajes totales; en Transporte Público Individual (taxi o por aplicación) se realizaron el 4,7% de los viajes totales; en el modo peatonal se realizaron el 31,8% de los viajes, en vehículo particular tipo auto se realizaron un 18,5% y en el tipo motocicleta un 14,1%. Complementariamente, en transporte colectivo privado se realiza el 3,1%, en bicicleta un 0,9% y un 0,3% en Transporte informal de los viajes.



Ilustración 2: Distribución modal de viajes

Distribución modal de viajes (%)



Fuente: Steer Davies & Gleave, Encuesta de hogares, 2017

El sistema de Transporte Público Colectivo (TPC) de Manizales y Villamaría está conformado por 83 rutas operadas por 6 empresas, con una flota de 955 vehículos que incluye microbuses, busetas, buses y vehículos tipo padrón, y una edad promedio de 9,8 años. (Consortio SETP Manizales, 2020).

Aunque el sistema presenta una cobertura adecuada (alrededor del 92% del área urbana de la ciudad se encuentra servida por Transporte Público Colectivo) su participación modal ha disminuido significativamente, entre el 2010 y 2018 en un 20%, en parte debido a la falta de carriles exclusivos, la congestión vial y las limitaciones de accesibilidad para personas con movilidad reducida, lo que ha afectado su eficiencia y competitividad frente a otros modos de transporte.

El tiempo promedio total de viaje por pasajero en el sistema de TPC de Manizales para 2022 era de 38,3 minutos. La longitud promedio de las rutas del TPC es de 26 km. Se reportan rutas con recorridos que llegan hasta los 53,6 km y tan cortos como 4,5 km¹.

¹ Se ha encontrado información distinta en diferentes documentos. Ej: Long máx. = 50,8 km y mín. = 6.4 km



- Operación: Las empresas operan de forma independiente, dificultando la interoperabilidad tecnológica y la articulación tarifaria y operativa.
- Infraestructura tecnológica: El sistema carece de un recaudo unificado y de control centralizado.
- Integración modal: Aunque el cable aéreo tiene potencial, actualmente no hay integración tarifaria ni física con el Transporte Público Colectivo, limitando su aprovechamiento. Hay integración física con el sistema de bicicletas públicas, entendiendo que sus estaciones se encuentran cerca de paradas de transporte público y cable, pero no como una política integral de movilidad.
- Accesibilidad: Una porción significativa de paraderos no cumple con estándares de accesibilidad, afectando a personas en condiciones de movilidad reducida. Ya se describió en el capítulo 3.2 el perfil de usuarios de la ciudad y la importancia de avanzar en flota con estas características.
- Sostenibilidad de la flota: Aunque algunas empresas operan con vehículos a gas y con plataformas elevadoras, la mayoría de la flota sigue siendo diésel, y como se mencionó en el capítulo 3.1., cuentan con una edad promedio de 9.8 años de antigüedad.

Actualmente, las estaciones del cable que operan son Fundadores, La Fuente, Cámbulos y Villamaría, y están asociadas a las líneas 1 y 2. Está en construcción una nueva línea (Línea 3), que conectará Cámbulos con el sector de El Cable (ver Ilustración 7).

Las rutas del TPC que se interceptan con estaciones del cable son:

- Fundadores: rutas que circulan por el centro histórico.
- Cámbulos: varias rutas intermunicipales y urbanas finalizan o pasan por esta zona.
- Villamaría: rutas que prestan servicio hacia ese municipio.

Además, el sistema futuro prevé integrar rutas auxiliares y directas en estaciones como Villamaría, Cámbulos y Fundadores, buscando la integración tarifaria y operacional con el sistema de cable.

Dado lo anterior, para avanzar hacia una movilidad más limpia y eficiente, es clave implementar un sistema integrado que contemple la electrificación del transporte público con flotas accesibles, una red de recarga y una política tarifaria inclusiva..

El Perfil Logístico Ecológico de Manizales (ICLEI, 2018) resalta avances estratégicos hacia un modelo de movilidad urbana más limpio y sostenible. La ciudad ha incorporado la movilidad eléctrica y la integración modal como componentes clave de su visión de desarrollo. Manizales proyecta 7 corredores logísticos para carga urbana hacia 2031, con potencial de articulación con patios logísticos y centros de recarga para buses



eléctricos. Estas estrategias alinean los esfuerzos de infraestructura, eficiencia energética y conectividad regional.

El POT 2017 establece como una prioridad la implementación de proyectos de mejoramiento de la infraestructura vial urbana, orientados a facilitar la operación de rutas del transporte colectivo. Entre las principales estrategias de mejoramiento se incluyen:

1. Reestructuración de rutas: se plantean rutas regulares, complementarias y veredales, con cobertura adecuada para los diferentes sectores de la ciudad.
2. Mejoramiento de la infraestructura vial: se proyectan obras de mantenimiento, rehabilitación y ampliación de corredores estratégicos, con énfasis en los ejes viales estructurantes como la Avenida Kevin Ángel, la Avenida Paralela y la Avenida Santander, lo que permitirá reducir tiempos de viaje y mejorar la regularidad del servicio.
3. Construcción de patios y talleres: se propone la creación de patios para la operación y mantenimiento de la flota, ubicados estratégicamente para facilitar el inicio y fin de ruta, así como garantizar condiciones técnicas óptimas para los vehículos.
4. Terminales de transporte y paraderos con espacio público (PEP): estas infraestructuras buscan mejorar la experiencia del usuario, integrando puntos de acceso cómodos, seguros y accesibles. Además, se contemplan mejoras en conectividad con modos no motorizados como la bicicleta.
5. Articulación modal: establecer un sistema integrado que se articula con el sistema de cable aéreo, la red peatonal y futuras ciclovías, lo cual promueve una movilidad multimodal eficiente y sostenible.
6. Gestión institucional y tecnológica: se plantea una estructura operativa y de recaudo centralizado, así como un sistema de información para el control, monitoreo y mejora continua del servicio.

Estas acciones forman parte de una visión de largo plazo que busca modernizar el transporte público, mejorar su cobertura territorial, hacerlo más competitivo frente al uso del transporte privado y alinearlos con las metas ambientales y de desarrollo urbano sostenible de la ciudad (POT Manizales, 2017).

El POT también establece requerimientos clave de infraestructura para garantizar el funcionamiento integral del Transporte Público y la expansión del sistema de cables aéreos. A continuación, se describen estas infraestructuras:

Paraderos:

Se contemplan tres tipos de paraderos: sencillos, con caseta y con Espacio Público (PEP). Estos últimos, además de cobertizos, incorporan puntos de información, baños, ciclo parqueaderos y zonas de recarga de tarjetas inteligentes. Se planean 13 PEP, tres de ellos integrados con estaciones de cable aéreo, reforzando la intermodalidad.



Ilustración 4: Paradero transporte público con caseta



Fuente: Foto recorrido técnico 5 de febrero 2025

Terminales de Ruta: Los terminales tipo 1 funcionarán como nodos intermodales y administrativos con espacios de espera, zonas de recarga y servicios al usuario. Los tipo 2 serán más sencillos, pero estratégicamente ubicados para mejorar el control operativo y facilitar los inicios y finales de recorrido.

Patios y Talleres: Son componentes de infraestructuras fundamentales para el mantenimiento, gestión y programación operativa de la flota. Su localización debe ser estratégica y deben contar con condiciones técnicas óptimas para garantizar un servicio de calidad.

Este tipo de infraestructura tiene como objetivos fundamentales:

- Estacionamiento de vehículos durante los periodos de inactividad.
- Mantenimiento y reparación de vehículos.
- Despacho de vehículos e implementación y control de la programación.



Los patios y talleres son componentes esenciales en los sistemas de transporte público eléctrico, pues además de servir como puntos de mantenimiento y almacenamiento, son la infraestructura principal para la instalación de cargadores eléctricos.

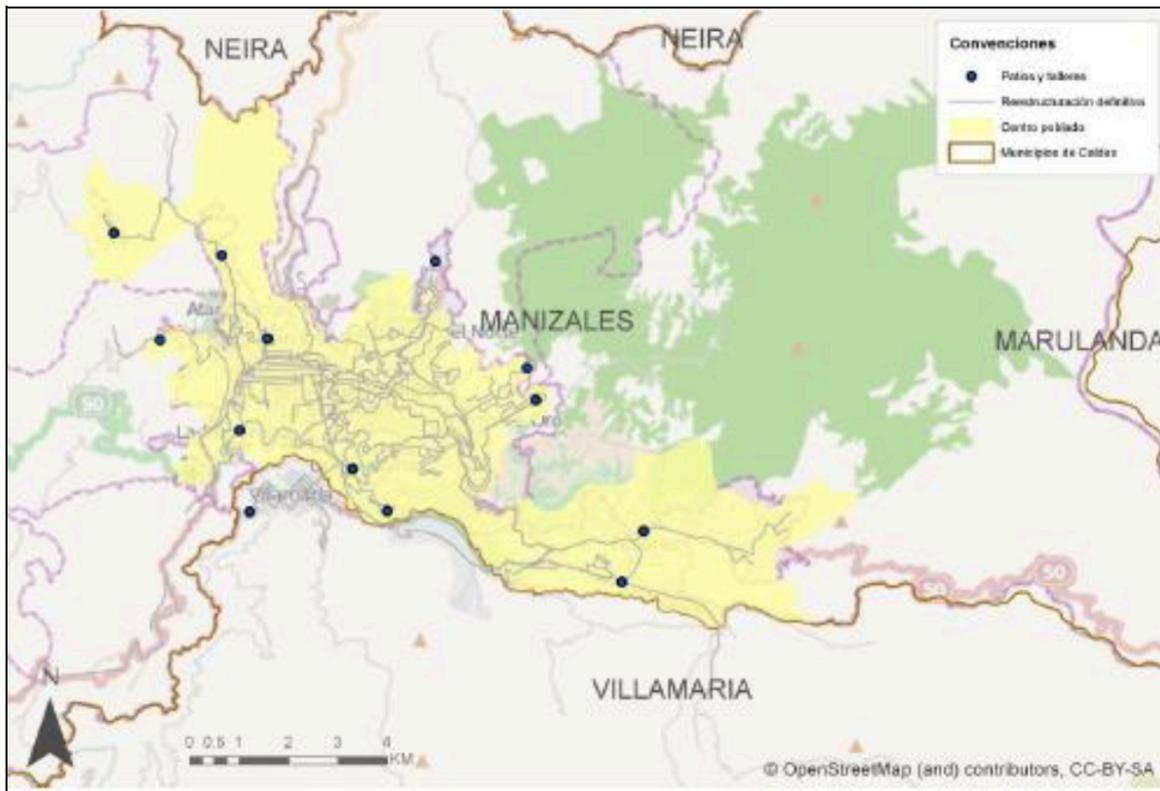
Ilustración 5: Patio Socobus – Villa Pilar



Fuente: Foto recorrido técnico 5 de febrero 2025



Ilustración 6: Propuesta de patios y Talleres (POT 2017)



Fuente: Tomado de Diseño Conceptual y Valoración de las Inversiones del Sistema Estratégico de Transporte Público para el Municipio de Manizales

Sistema de Cables Aéreos de Manizales

El cable aéreo es una respuesta tecnológica a las difíciles condiciones topográficas de la ciudad que han dificultado la movilidad de las personas. En el futuro el sistema de cable aéreo se convertirá, muy seguramente, en un instrumento fundamental para la movilidad urbana sostenible (POT Manizales, 2017). Se han experimentado avances significativos en los últimos años. A continuación, se detallan las líneas en operación y los proyectos actuales:

Líneas en operación

Línea 1: Conecta el centro de la ciudad con la Terminal de Transportes (Estación Cábmulos) a través de la Estación Fundadores y la Estación Intermedia Betania. Tiene una longitud de 2,1 km y moviliza aproximadamente 8.500 pasajeros diarios.

Línea 2: Comunica Manizales con el municipio de Villamaría. Esta línea ha impulsado el uso masivo del sistema de transporte, contribuyendo a la agilidad y rapidez en el desplazamiento entre ambas localidades

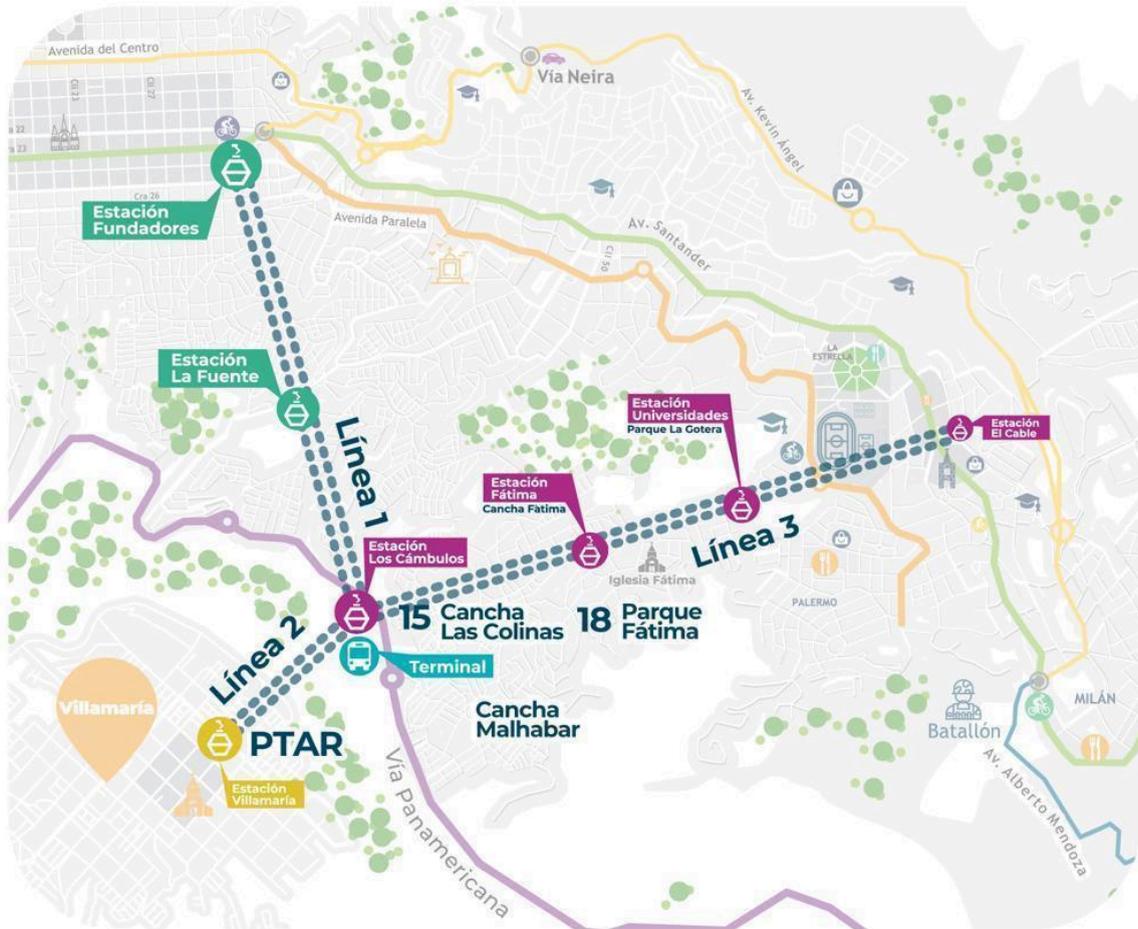
Línea en construcción

Línea 3 (Cámbulos – Fátima – Universidades – El Cable): Actualmente en construcción, esta línea contará con 4 estaciones y una longitud de 2,4 km. Su objetivo es mejorar la movilidad sostenible de la ciudad, integrándose con las líneas existentes y conectando centralidades clave como el Centro Histórico, Villamaría y el sector financiero-universitario-deportivo. Se espera que entre en operación en mayo o junio de 2025, dependiendo de la obtención de las licencias necesarias y la consolidación del presupuesto y cronograma de ejecución.

Estos sistemas de cables eléctricos tienen una particularidad importante que consiste en establecer a la Terminal de Transporte como nodo de conexión con las flotas de buses de transporte intermunicipal y departamental. Estos elementos se articulan con la red vial urbana y el espacio público para mejorar la experiencia de viaje del usuario y garantizar eficiencia operativa.



Ilustración 7: Líneas 1, 2 y 3 del sistema de cables de Manizales



Fuente: <https://centrodeinformacion.manizales.gov.co/el-cable-vuelve-al-cable>

Transporte eléctrico tipo tranvía

Este sistema se implementará como estrategia para el mejoramiento y consolidación del espacio público. Se priorizará su ejecución en el centro y en los ejes primarios de la ciudad, así como en sus zonas de impacto. Su viabilidad, modelo de implementación y operación, así como trazados finales y estaciones, dependerán de los estudios de detalle. (POT Manizales, 2017).

Así mismo, el documento del POT propone nuevas conexiones urbanas entre zonas residenciales e industriales, la construcción de puentes, túneles y mejoramientos en los accesos, orientados a descongestionar el tráfico y mejorar la conectividad interurbana (POT Manizales, 2017).

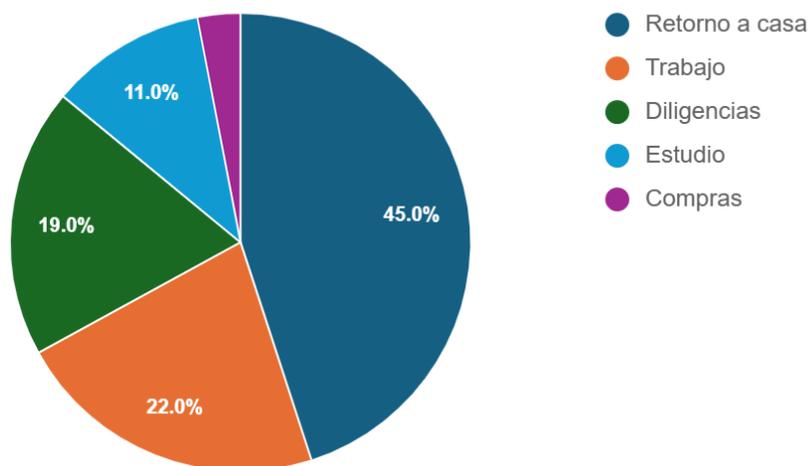
3.2. Perfil de usuarios

Propósitos de Viaje:

La gráfica **“Propósitos de los viajes”** (ICLEI, 2025) representa la distribución porcentual de los distintos motivos por los cuales los ciudadanos realizan desplazamientos en la ciudad.

Ilustración 8: Distribución de viajes por motivos

Distribución de viajes por motivos (%)



Fuente: ICLEI, 2025

A continuación, se describe el contenido de la gráfica:

- Retorno a casa es el propósito más común, representando el 45% del total de los viajes. Esto indica que una gran proporción de los desplazamientos tienen como destino final el hogar, probablemente después de actividades laborales, educativas o personales.
- Trabajo constituye el 22% de los viajes, lo que refleja la importancia del sistema de transporte público como medio para acceder a oportunidades laborales.
- Diligencias ocupa el tercer lugar con un 19%, evidenciando que una parte significativa de los viajes responde a trámites personales o administrativos.
- Estudio representa el 11% de los viajes, lo que demuestra el uso del transporte público por parte de estudiantes para acceder a instituciones educativas.
- Compras tiene una participación minoritaria del 3%, lo que sugiere que esta actividad es realizada con menor frecuencia o mediante otros modos de transporte.

Género:

La distribución por género en la zona urbana es de aproximadamente 55% mujeres y 45% hombres (ICLEI, 2025). Se puede inferir que las mujeres constituyen una proporción significativa de los usuarios, especialmente considerando su participación en actividades laborales, educativas y del hogar.

Edad

La población de Manizales presenta una estructura etaria diversa. Los jóvenes y adultos jóvenes (entre 15 y 35 años) representan una parte considerable de los usuarios del transporte público, principalmente debido a su participación en actividades educativas y laborales. Además, se ha identificado que los estudiantes que residen en barrios de estrato bajo deben invertir más tiempo en desplazarse hacia las instituciones educativas, lo que indica una dependencia significativa del transporte público en este grupo etario (Younes *et al*, 2016).

Estrato Socioeconómico

Manizales presenta una distribución socioeconómica diversa, con presencia de todos los estratos (1 al 6). Sin embargo, los usuarios del transporte público pertenecen mayoritariamente a los estratos 1, 2 y 3. Estos grupos dependen en gran medida del transporte público para acceder a sus lugares de trabajo, estudio y otros servicios esenciales (Younes *et al*, 2016).

Accesibilidad y Cobertura del Sistema

Una investigación de la Universidad Nacional de Colombia analizó la evolución de la accesibilidad del sistema de transporte público colectivo urbano en Manizales entre 2010 y 2021. Se observó un estancamiento en la expansión del sistema entre 2010 y 2015, seguido de un aumento significativo en la cobertura entre 2015 y 2021. Sin embargo, se concluyó que la funcionalidad del sistema sigue siendo inequitativa, afectando especialmente a la población con menor capacidad económica (Montoya *et al*, 2023)

Estratificación Socioeconómica de los Usuarios

Aunque no se encontraron datos específicos para Manizales, estudios en otras ciudades colombianas, como Montería, indican que la mayoría de los usuarios del transporte público pertenecen a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3. Es probable que una tendencia similar se observa en Manizales, considerando las características socioeconómicas de la población y la estructura del sistema de transporte público.



4. Impactos ambientales

En cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el inventario de 2018 indicó que el sector transporte fue responsable del 35,2% de las emisiones totales del municipio, lo que corresponde a 428.012 toneladas de CO₂e. De estas emisiones, los buses representaron el 25,6 %, equivalentes a aproximadamente 109.664 toneladas de CO₂e. Estos datos subrayan la urgencia de migrar hacia tecnologías más limpias como los buses eléctricos, con el fin de reducir significativamente la huella ambiental del transporte urbano en Manizales.

El boletín de calidad del aire de Manizales 2022 confirma que el transporte, especialmente el público motorizado a diésel, sigue siendo una fuente relevante de contaminación por material particulado (PM10 y PM2.5). De acuerdo con la actualización del inventario de emisiones (Unal & Corpocaldas, 2019a), los vehículos a diésel (incluidos buses y camiones) representan solo el 3.2% del total del parque automotor de la ciudad, pero son responsables del 56% de las emisiones de PM10 (351,2 ton/año) y el 24% de las emisiones de PM2.5 (151,9 ton/año).

Durante el año 2022, las estaciones con mayor carga vehicular, como Milán y Liceo, registraron las concentraciones promedio más altas de PM10, con 30 µg/m³ y 27 µg/m³ respectivamente, superando ampliamente las recomendaciones de la OMS (2022) de 15 µg/m³ para PM10 y 5 µg/m³ para PM2.5, aunque sin superar los límites legales de la Resolución 2254 de 2017.

Los análisis de equipos automáticos indican que las concentraciones horarias más altas de PM10 y PM2.5 coinciden con las horas pico del flujo vehicular (entre 6:00 y 8:00 a.m. y entre 6:00 y 8:00 p.m.), validando la influencia directa del tránsito sobre la calidad del aire. Este patrón fue más evidente en estaciones como Gobernación y Liceo (Unal & Corpocaldas, 2022).

Las jornadas de 'Día sin carro y motocicleta' realizadas en junio, septiembre y noviembre de 2022 arrojaron resultados mixtos. Mientras que las jornadas de junio y noviembre mostraron reducciones en las concentraciones de material particulado (hasta un 50% para PM2.5 en Gobernación), la del 22 de septiembre mostró incrementos. Esta diferencia se explica por factores como mayor presencia de flota de buses diésel para suplir la demanda del transporte y las condiciones meteorológicas (lluvias, viento, presión atmosférica).

El Plan Manizales por la Acción Climática 2050, adoptado mediante el Decreto 0265 de 2022, busca convertir a Manizales en un territorio carbono neutral para el año 2050. Este plan establece estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático y forma parte de la planificación ambiental de largo plazo del municipio (Alcaldía de Manizales, 2022).



El objetivo principal es reducir en un 92,4 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para 2050. Las metas intermedias incluyen una reducción del 3 % para el año 2023 y del 26 % para el año 2030.

Los cinco ejes estratégicos del plan son:

1. Ecosistemas y sus servicios.
2. Desarrollo urbano y rural resiliente al clima.
3. Movilidad baja en carbono.
4. Desarrollo agropecuario y cadenas de valor.
5. Diversificación energética y desarrollo industrial.

A estos se suman dos ejes transversales:

- Información, ciencia, tecnología e innovación.
- Educación y comunicación en cambio climático.

En materia de transporte, entre las acciones destacadas en se encuentran:

- Línea 3 del Cable Aéreo: sistema de transporte eléctrico que se espera reduzca 750 toneladas de CO₂ anuales.
- Sistema Integrado de Transporte Público (SITP): incorpora transporte eléctrico.

Estos resultados de mediciones ambientales refuerzan la necesidad de implementar tecnologías limpias, como los buses eléctricos, que podrían contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones contaminantes asociadas a la operación del Transporte Público.

5. Justificación del Transporte eléctrico

5.1. Beneficios técnicos, ambientales y sociales

El transporte eléctrico se ha consolidado como una estrategia clave para avanzar hacia sistemas urbanos más sostenibles, eficientes y saludables. En ciudades con desafíos topográficos como Manizales, esta tecnología ofrece ventajas adicionales debido a su capacidad para afrontar pendientes pronunciadas con mayor eficiencia energética y sin emisiones locales de contaminantes.

La transición hacia un sistema de transporte público eléctrico en Manizales ofrece múltiples beneficios que abarcan aspectos técnicos, ambientales y sociales.



Tabla 1: beneficios técnicos, económicos y sociales del transporte público eléctrico

Tipo de beneficios	Beneficios
Técnicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eficiencia Energética: Los buses eléctricos convierten aproximadamente el 85–90% de la energía de la batería en movimiento, mientras que los vehículos con motores de combustión interna tienen una eficiencia del 20–30% (Enel X, s.f.). 2. Reducción de Costos Operativos: Aunque la inversión inicial en buses eléctricos es mayor, los costos de mantenimiento y operación son significativamente más bajos debido a la menor cantidad de piezas móviles y al menor desgaste de componentes. Para el caso de Medellín, se evidencia que hay un 72% de menos costos de mantenimiento y un 3.3% menos costos en el energético, comparado con buses a gas (GNV). 3. Menor Nivel de Ruido: Los buses eléctricos operan de manera casi silenciosa, lo que contribuye a la disminución de la contaminación acústica en entornos urbanos. Como se indicó, en zonas de altas pendientes como Manizales y donde el transporte público opera desde las 4:30 am hasta casi las 10:00 u 11:00 pm, se convierte en un atributo importante para las personas.
Ambientales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): La electrificación del transporte público contribuye a la disminución de emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos climáticos de Manizales de reducir en un 92,4% las emisiones de GEI para 2050 (Alcaldía de Manizales, 2022). 2. Mejora de la Calidad del Aire: En la evaluación de emisiones atmosféricas asociadas al sector transporte, se distinguen generalmente dos enfoques metodológicos: (1) el análisis “Well-to-Wheel”, que abarca todo el ciclo energético desde la extracción de la fuente primaria hasta el uso final del vehículo, y (2) el enfoque “Tank-to-Wheel”, que se limita a las emisiones generadas exclusivamente durante la operación del vehículo. En este análisis se adopta el enfoque Tank-to-Wheel, con énfasis en las emisiones locales directas. La implementación de vehículos eléctricos permite la eliminación de contaminantes atmosféricos emitidos a nivel urbano, particularmente material particulado (PM10 y PM2.5), los cuales están asociados a fuentes móviles con motores de combustión interna. Esta reducción contribuye significativamente a la mejora de la calidad del aire urbano y, por consiguiente, a la disminución en la prevalencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la población expuesta. 3. Uso Eficiente de Recursos Energéticos: La adopción de energías renovables para la carga de buses eléctricos promueve un uso más sostenible de los recursos energéticos. 4. Reducción de la contaminación sonora en la ciudad: los buses eléctricos son más silenciosos que los vehículos a combustión, lo que contribuye a un ambiente urbano más tranquilo y saludable. Para esta propuesta, se busca mitigar el ruido del transporte público en el centro histórico y barrios residenciales especialmente.



Tipo de beneficios	Beneficios
Sociales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Salud Pública: La mejora en la calidad del aire y la reducción del ruido ambiental tienen un impacto positivo en la salud de la población, disminuyendo la prevalencia de enfermedades relacionadas con la contaminación. 2. Equidad Social: Un sistema de transporte público eficiente y limpio mejora el acceso a oportunidades económicas y sociales para todos los segmentos de la población, especialmente para aquellos que dependen del transporte público. 3. Desarrollo Económico: La implementación de tecnologías limpias puede generar nuevos empleos en sectores relacionados con la fabricación, mantenimiento e infraestructura de vehículos eléctricos. 4. Equidad de género: la planificación y operación de sistemas de transporte público eléctrico pueden promover la participación de las mujeres en roles tradicionalmente dominados por hombres, como la conducción y el mantenimiento de vehículos, así como en puestos de liderazgo. Además, al considerar los patrones de movilidad específicos de las mujeres, se pueden diseñar sistemas más inclusivos, eficientes y seguros. 5. Confort: el bus eléctrico es más confortable para la población, toda vez que ofrece una experiencia de viaje más cómoda gracias a la reducción del ruido y las vibraciones. Podría tener aire acondicionado, es accesible y cuenta con espacios más ergonómicos. En Manizales, se priorizaría un servicio moderno y confortable para todos los usuarios.

Fuente: elaboración propia

5.2. Referencias nacionales e internacionales

Uno de los principales beneficios del transporte eléctrico es la reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2022), la implementación de flotas de buses eléctricos en América Latina y el Caribe evitó aproximadamente 234 mil toneladas de CO₂ anualmente, gracias al uso de fuentes de energía más limpias y a la eliminación de emisiones directas de los tubos de escape.

Además, estos vehículos contribuyen a mejorar la calidad del aire local, al eliminar emisiones de material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx), principales responsables de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en zonas urbanas. La renovación de la flota de transporte en ciudades como Bogotá y Santiago ha generado mejoras significativas en la calidad del aire. En Bogotá, la modernización de TransMilenio permitió reducir hasta un 78 % el PM_{2.5} y un 80 % el hollín al interior de los buses (Universidad de los Andes y TransMilenio, 2023), mientras que el inventario de emisiones de 2020 reportó una disminución del 26 % en las emisiones totales de PM_{2.5} respecto a 2018 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022). En Santiago, la incorporación de buses



eléctricos ha contribuido a la reducción de contaminantes atmosféricos, incluyendo PM2.5, mejorando la calidad del aire urbano (CEPAL, 2023).

A nivel internacional, el BID (2023) destaca que la electrificación del transporte contribuye no solo a la reducción de emisiones globales de CO₂, sino también a mejoras significativas en salud pública, gracias a reducciones de hasta 78% en óxidos de nitrógeno (NO_x) y 72% en material particulado fino (PM1.5). América Latina necesita reducir su huella per cápita en al menos 2 toneladas métricas de CO₂ anuales al 2050, lo cual requiere la masificación de flotas de transporte limpio y el diseño de políticas públicas sólidas (BID, 2023).

En términos de eficiencia energética, los buses eléctricos son hasta tres veces más eficientes que los vehículos de combustión interna (PNUMA, 2022). Esta mejora se traduce en un menor consumo de energía por kilómetro recorrido, permitiendo una mejor planificación operativa y ahorro energético considerable.

Otro aspecto clave es el menor nivel de ruido. La contaminación acústica es un problema significativo en áreas urbanas, especialmente en ciudades con topografías complejas como Manizales. Las pendientes pronunciadas requieren que los vehículos de combustión interna operen a mayores revoluciones y potencias, lo que incrementa notablemente los niveles de ruido. Este fenómeno afecta negativamente la calidad de vida y la salud mental de los habitantes. La implementación de buses eléctricos presenta una solución efectiva para mitigar este problema. Estos vehículos producen niveles de ruido significativamente menores en comparación con los buses tradicionales. Por ejemplo, se ha observado que los buses eléctricos reducen el ruido en aproximadamente 7 decibelios (dB), lo que equivale a una disminución percibida del ruido a la mitad.

En el contexto colombiano, la Resolución 0627 de 2006 establece los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental. Sin embargo, en ciudades con pendientes pronunciadas, estos límites suelen superarse debido al esfuerzo adicional que realizan los vehículos de combustión interna al ascender. La adopción de flotas eléctricas en estas áreas no solo contribuiría al cumplimiento de las normativas vigentes, sino que también mejoraría la calidad acústica del entorno urbano. Además, la reducción del ruido vehicular tiene implicaciones directas en la salud pública. Por lo tanto, la transición hacia una flota de buses eléctricos en ciudades como Manizales no solo aborda la problemática ambiental, sino que también promueve el bienestar de sus habitantes.

Desde el punto de vista económico, los costos operativos y de mantenimiento de los vehículos eléctricos tienden a ser más bajos en el largo plazo. Esto se debe a la menor cantidad de piezas móviles, menor desgaste mecánico y ahorro en combustible. Por ejemplo, el estudio de caso de Uruguay (Correa & Di Chiara, 2020) concluyó que la



electrificación de la flota urbana generaba beneficios económicos incluso bajo escenarios conservadores.

Finalmente, la electrificación del transporte es una herramienta fundamental para cumplir los compromisos climáticos de Colombia y avanzar hacia modelos urbanos resilientes y bajos en carbono. Su adopción en ciudades como Manizales puede detonar procesos de innovación tecnológica, mejorar la percepción del transporte público y abrir nuevas oportunidades de financiación verde.

La adopción de buses eléctricos en el transporte público ha sido exitosa en diversas ciudades alrededor del mundo, sirviendo como referencia para Manizales.

Tabla 2: Buses eléctricos en ciudades en el mundo

Ciudad	Cantidad buses
Shenzhen, China	Shenzhen es pionera en la electrificación del transporte público, habiendo convertido la totalidad de su flota de aproximadamente 16,000 autobuses a eléctricos (LinkedIn, 2023). Esta transición ha resultado en una significativa reducción de emisiones y ha establecido un modelo a seguir para otras ciudades.
Santiago, Chile	Santiago cuenta con una flota de 2,550 autobuses eléctricos a abril de 2025. (Fuente: https://ebusradar.sinnapse.com.br/es/#) Se sumarán otros 1.800 buses que se irán incorporando durante el 2025, posicionándose como la ciudad con la mayor flota de este tipo.
Bogotá, Colombia	Bogotá ha incorporado 1,486 autobuses eléctricos a abril del 2025 en su sistema de transporte público, consolidándose como la segunda ciudad líder en América Latina en la adopción de esta tecnología. (Fuente: https://ebusradar.sinnapse.com.br/es/#)
Londres, Reino Unido.	Londres posee una flota de más de 1,800 autobuses eléctricos, siendo la más grande de Europa. La ciudad ha implementado políticas para que todos los nuevos autobuses sean híbridos o eléctricos.
Madrid, España	La ciudad de Madrid cuenta con una flota actual de 432 autobuses eléctricos que alcanzará la cifra de 463 unidades a finales de este año (2025). autobuses
Cali, Colombia	Cali ha incorporado 35 autobuses eléctricos a abril de 2025 en su sistema de transporte público Masivo Integrado de Occidente (MIO). (Fuente: https://ebusradar.sinnapse.com.br/es/#)
Medellín, Colombia	Medellín ha integrado 69 buses eléctricos en el sistema Metroplús, distribuidos en 64 buses padrones de 12 metros con capacidad para 80 pasajeros, que operan en las líneas troncales del sistema BRT, y 5 buses adicionales, incluyendo un bus articulado eléctrico y 4 buses alimentadores.

Fuente: Elaboración propia

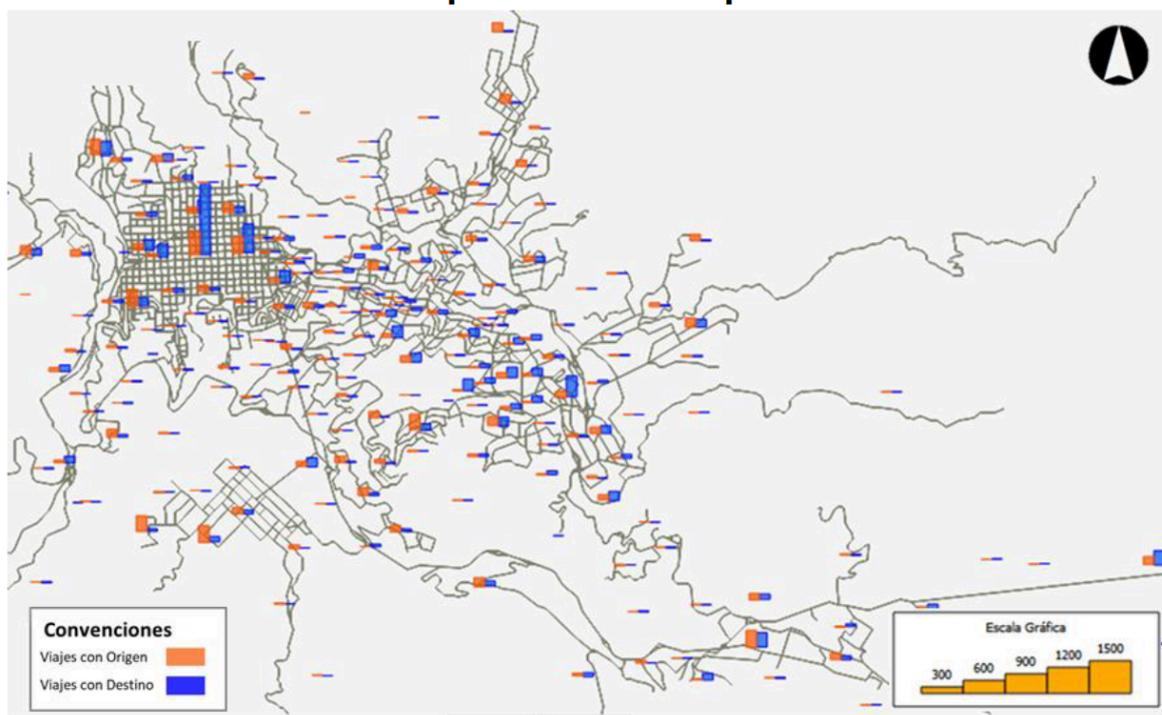


6. Análisis de Demanda y Oferta

Los viajes diarios en transporte público superan los 260 mil viajes diarios, con 83 rutas que cubren zonas periféricas. Las zonas económicas activas, como el centro, universidades y sectores industriales, generan altos volúmenes de viaje.

La generación y atracción de viajes durante la hora pico se concentra en el centro histórico de Manizales, el sector de “El Cable” y la zona industrial de Maltería, que actúan como principales polos de atracción. Zonas como Villa Pilar, Chipre, Villamaría, San Sebastián y Fátima, por su parte, destacan como generadoras, dado su carácter residencial.

Ilustración 9: Diagnóstico del Transporte Público Colectivo en el área de influencia del SETP Manizales-Villamaría



Fuente: Línea base del sistema de transporte público colectivo. Consorcio SETP Manizales, 2020

La movilidad se caracteriza por 982.232 viajes diarios (EODH 2017), de los cuales el 26,6% se hacen en TPC. La alta proporción de viajes desde zonas periféricas hacia los polos de atracción urbanos revela la necesidad de fortalecer la conectividad intermodal y la eficiencia del sistema. En especial, corredores como la Avenida Santander, Kevin Ángel, Paralela y Bernardo Arango concentran múltiples rutas.



Además, sectores como La Enea y la zona de universidades generan importantes flujos por motivos académicos. Esta distribución espacial exige un sistema más estructurado con énfasis en accesibilidad, frecuencia y sostenibilidad para absorber adecuadamente la demanda y mitigar los impactos negativos del crecimiento del parque automotor.

7. Diseño de la Ruta Piloto Eléctrica

El objetivo en esta sección es presentar una propuesta técnica integral para la implementación de una ruta piloto de transporte público eléctrico en Manizales, que contribuya a una movilidad urbana sostenible, intermodal y baja en carbono, articulada con el Transporte Público y el sistema de cables.

7.1. Criterios de selección

La selección de la ruta piloto se fundamentó en una metodología mixta que integró análisis técnico, trabajo de campo como se describe en el Anexo 1 y articulación institucional con la administración local. Este enfoque permitió construir una propuesta coherente con las necesidades de la ciudad y sus condiciones operativas reales. La metodología se estructuró en las siguientes fases:

1. Articulación institucional y levantamiento preliminar de información:

Antes del trabajo de campo:

Se llevaron a cabo reuniones virtuales entre el equipo técnico del proyecto y representantes de la administración municipal. En estas sesiones, la ciudad presentó un diagnóstico detallado del estado situacional del transporte público, incluyendo información sobre rutas, infraestructura, demanda, y desafíos operativos. Estos insumos fueron entregados a ICLEI como base para el análisis técnico.

Con base en esta información, se elaboró una propuesta preliminar de trazado para una posible ruta piloto eléctrica, la cual fue socializada con la ciudad. Tras su validación inicial, se acordó realizar un recorrido técnico para evaluar la viabilidad física y operativa del proyecto de ruta piloto.

2. Inspección de campo y evaluación de infraestructura existente:

Se efectuó un recorrido presencial por el trazado sugerido, en el que se verificaron condiciones viales, topográficas, ubicación de paraderos, espacio para la operación de buses eléctricos y posible localización de infraestructura de carga. Esta fase permitió ajustar el trazado preliminar con criterios de operatividad y seguridad vial.

3. Identificación visual de generadores y atractores de viaje:

Se identificaron visualmente durante el recorrido zonas de origen y destino de



viajes relevantes para la ciudad, incluyendo sectores residenciales, educativos, hospitalarios, institucionales y comerciales, con el objetivo de maximizar la cobertura y el impacto social del proyecto de ruta piloto.

4. Integración con infraestructura de transporte existente:

Se priorizó la conexión funcional con otras infraestructuras de transporte masivo en operación y en desarrollo, como el cable aéreo y rutas actuales de buses, velando complementariedad e intermodalidad.

5. Medición de longitud del trazado y dimensionamiento de recursos:

Se estimó la longitud total del recorrido validado y, con base en los requerimientos técnicos de operación (autonomía de los vehículos, frecuencia esperada, tiempo de recorrido, topografía), se calculó la cantidad de buses eléctricos requeridos y la ubicación estratégica de estaciones de carga.

La ruta propuesta tiene un trazado base entre Villa Pilar – Sultana – Fundadores – Av. Santander – La Cumbre – Minitas, con una longitud aproximada de 13 km. Este recorrido cubre sectores residenciales densamente poblados, zonas de servicios, ejes viales estructurantes y nodos de conexión intermodal como Fundadores, lo que la convierte en un eje ideal para evaluar la operación eléctrica bajo condiciones reales de demanda y topografía.

Desde el punto de vista técnico, se identifican varias ventajas. En primer lugar, la ruta tiene pendientes intermedias compatibles con la tecnología de buses eléctricos, que han demostrado buen desempeño en ciudades con condiciones topográficas similares, como el SITP en Bogotá, Fase V. En segundo lugar, la longitud de 13 km es adecuada para la autonomía de los buses eléctricos actuales, que pueden operar entre 250 y 300 km por carga (BYD, 2023), permitiendo operar la ruta completa durante un turno con una sola carga diaria.

A nivel operativo, la ruta se intercepta con importantes polos generadores de viajes, como universidades, hospitales y zonas comerciales. Su paso por Fundadores permite la integración modal con el sistema de cable aéreo, reforzando los principios del SETP y la multimodalidad. Además, se contempla el desarrollo de un electro terminal en Villa Pilar, que permitirá realizar operaciones de recarga nocturna y mantenimiento preventivo.

Esta ruta piloto permitirá recopilar datos esenciales sobre consumo energético, desempeño en pendientes, tiempos de recarga, comportamiento de la batería, percepción del usuario y costos operativos. Estos insumos serán fundamentales para escalar la electrificación a otras rutas del sistema, ajustando la flota, el tipo de cargadores, la planificación de patios y la integración tarifaria.



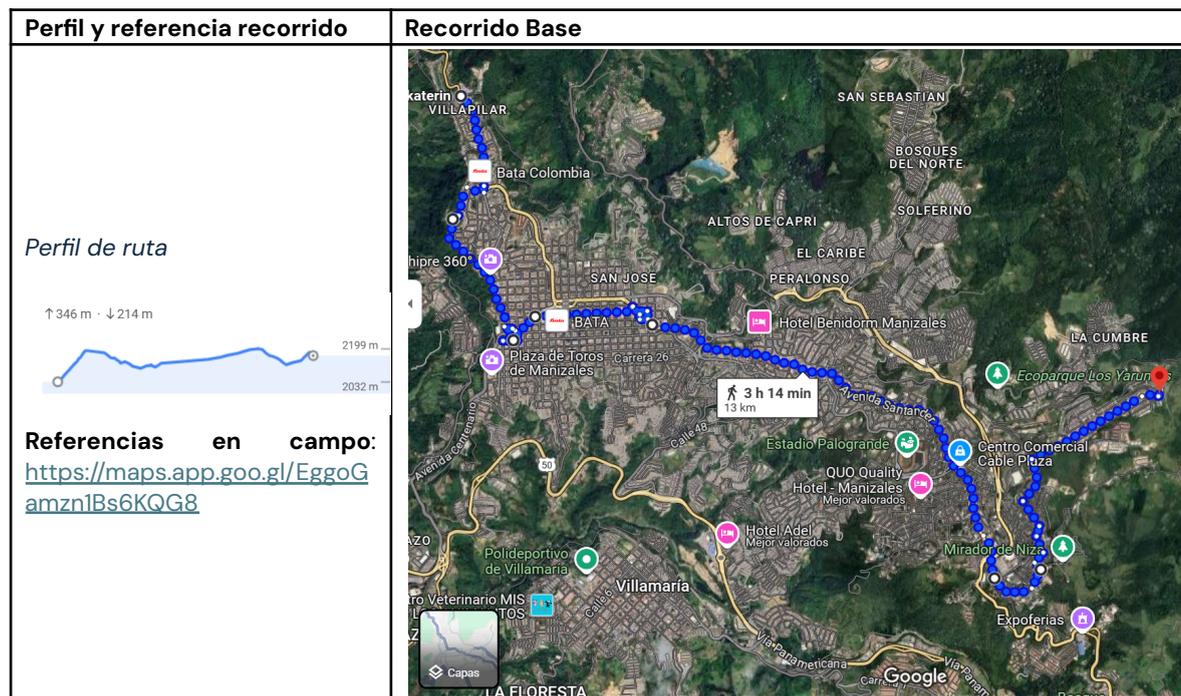
7.2. Recorrido Propuesto

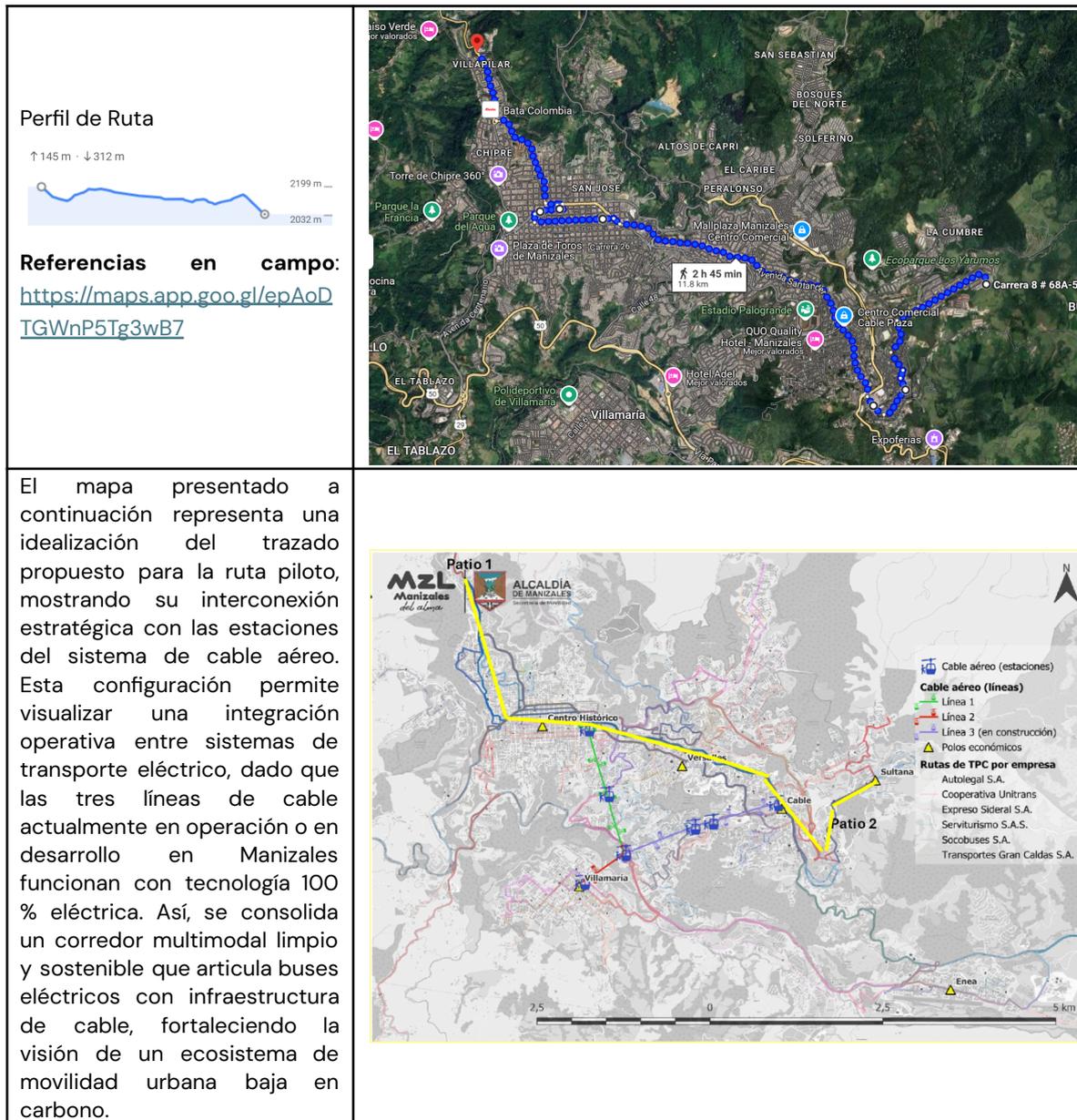
La ruta propuesta para la implementación del piloto de transporte público eléctrico no corresponde actualmente a una ruta unificada dentro del sistema formal de transporte colectivo de Manizales. No obstante, su trazado se construyó a partir de corredores viales que ya son operados, de forma fragmentada, por distintas empresas transportadoras. Es decir, si bien existen segmentos del recorrido que hoy están en funcionamiento, no hay una ruta única que los conecte integralmente en un solo servicio. La propuesta busca consolidar esta ruta como una alternativa operativa exclusivamente eléctrica, cuya prestación pueda ser asumida proporcionalmente por las empresas que hoy comparten los corredores y movilizan la demanda en el trazado identificado.

Trazado de la ruta eléctrica sugerida:

- **Recorrido base:** Villa Pilar – Sultana – Fundadores – Av. Santander – La Cumbre – Minitas
- **Longitud aproximada:** 13 km

Ilustración 10: Recorrido base: Villa Pilar – Sultana – Fundadores – Av. Santander – La Cumbre – Minitas





Fuente: Elaboración propia

Dado que la **ruta piloto** tiene una **longitud de 13 km** y los **buses eléctricos** tienen una **autonomía de 250 a 300 km por carga**, podemos hacer los siguientes cálculos para proponer y determinar el número de buses y cargadores para la operación de la ruta propuesta:

7.3. Estimación de buses y cargadores requeridos necesarios para operación:

El dimensionamiento de la flota y la infraestructura de carga para la ruta piloto eléctrica en Manizales se realizó a partir de variables referenciales operativas, técnicas y energéticas y siguió los siguientes pasos:

1. Cálculo de viajes por carga completa: Se estableció una autonomía referencial del bus eléctrico de 250 km por carga, y una longitud de recorrido de la ruta de 13 km. A partir de estos valores se estimó que un bus puede completar aproximadamente 19,23 viajes por carga completa..
2. Estimación de la frecuencia operativa y número de buses: Con una velocidad comercial promedio de 17,7 km/h, se determinó un tiempo estimado de recorrido por viaje de 44,07 minutos. Para garantizar una frecuencia deseada de 6 minutos, se requiere la operación simultánea de 7 buses, más 2 unidades de reserva operacional, lo que da un total de 9 buses eléctricos necesarios.
3. Determinación de la demanda energética por bus: Se asumió un consumo energético de 200 kWh por bus/día, considerando un uso de batería del 80% de su capacidad nominal (250 kWh). Con una operación diaria estimada, se obtuvo una demanda total de energía de 1.869 kWh por día para toda la flota.
4. Cálculo de cargadores necesarios: Se seleccionaron cargadores rápidos de 150 kW. Con un tiempo disponible de carga nocturna de 6 horas, se definió la capacidad de carga diaria máxima y se aplicó un factor de simultaneidad del 70%. A partir de esto, se estimó que serían necesarios aproximadamente 2 cargadores rápidos, incluyendo una reserva del 20% para cubrir mantenimientos o picos de demanda.
5. Validación con supuestos de diseño: Se estableció que los buses tipo busetón con capacidad para 50 pasajeros y una autonomía ≥ 250 km son técnicamente viables para la operación propuesta

La tabla a continuación resume los supuestos considerados para la estimación de buses y cargadores requeridos para el piloto, así como los resultados obtenidos.

Tabla 3: Estimación de buses y cargadores – cálculos operacionales ruta eléctrica

Concepto	Valor estimado	Unidad medida
Autonomía requerida x bus	250	Und
Longitud de recorrido aprox. (x sentido)	13	km
Viajes x carga completa	19,23	Viajes
Velocidad comercial Manizales	17,7	km/h

Concepto	Valor estimado	Unidad medida
Tiempo promedio recorrido	44,07	min
Frecuencia deseada	6,00	min
Buses por hora	7	Und
Buses reserva operacional	2	Und
Número de buses	9	Un
Capacidad Batería	250	kWh
Tiempo disponible para la carga	6	horas
Potencia Cargador	150	kW
Tasa de utilización (uso batería x bus)	80%	%
	200	kWh
Factor de simultaneidad de carga	70%	%
Demanda energética por bus por recorrido	200	kWh
Demanda energética total diaria	1.869	kWh
Potencia por cargador	150	kW
Carga máxima	900	kWh
Número teórico de cargadores	2,08	Un
Número de buses simultáneos	6,54	Un
Demanda energía en 8 horas para buses	1.308	kWh
Número cargadores necesarios	1,45	Un
Reserva para cubrir fallos, mantenimiento o picos demanda	20%	%
cargadores adicionales	0,29	Un
Total Cargadores	1,74	Un

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 2_Dimensionamiento de buses y cargadores, resumido en la Tabla 3, se presentan los cálculos operacionales para estimar la flota requerida. Este anexo permite determinar el número de buses eléctricos y cargadores necesarios en función de la longitud del recorrido que se defina, considerando parámetros como autonomía, frecuencia de servicio, capacidad energética y tiempos de carga.

Los datos asumidos para la estimación corresponden a las siguientes fuentes de información:

Fichas técnicas de fabricantes líderes:

- BYD K7M o J6 (buses tipo busetón):
Autonomía nominal: 240–270 km por carga
- Yutong E7 / ZK6729BEV:
Autonomía realista: 230–260 km, dependiendo del terreno y carga.

- King Long XMQ6800 Electric:
Rango estimado: hasta 260 km por carga en condiciones urbanas

Referencias institucionales y multilaterales:

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) – Nota Técnica BID-TN-2307:

Indica que para rutas urbanas de 10–15 km, una autonomía efectiva de 250 km permite entre 2 y 3 turnos operativos diarios.

Fuente: documento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) titulado “Lecciones aprendidas en la implementación de buses eléctricos en América Latina.”

Experiencias en ciudades latinoamericanas:

Bogotá (SITP Provisional – buses tipo padrón y busetón eléctricos):

Se reportan autonomías operativas entre 240 y 280 km, con un solo ciclo de carga nocturna en patios.

Fuente: Secretaría de Movilidad de Bogotá y Enel X Colombia (2022).

7.4. Estaciones clave e integración:

Tabla 4: Estimaciones clave e integración

Punto	Tipo	Observación
Villa Pilar	Terminal / Patio	Patio de Socobuses: ideal para carga lenta y operación
Fundadores	Estación de transferencia	Conexión con Línea 1 del cable aéreo
Cámbulos	Intermodal	Conexión con cables y terminal intermunicipal
La Cumbre – Minitas	Zona de expansión	Alta densidad futura, buen estado vial

Fuente: Elaboración propia

7.5. Infraestructura de patios y de carga

Los patios y talleres son componentes esenciales en los sistemas de transporte público eléctrico, pues además de servir como puntos de mantenimiento y almacenamiento, son la infraestructura principal para la instalación de cargadores eléctricos, de carga lenta o rápida.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), los patios deben contar con suficiente espacio para la instalación de cargadores, estaciones eléctricas y almacenamiento de baterías, y se recomienda su diseño considerando una demanda energética total acorde con la operación diaria. Una adecuada planificación de estos espacios garantiza una operación eficiente y segura, permitiendo también escalar la flota en el futuro.

Asimismo, se destaca que el sistema de carga lenta en patios, al aprovechar las tarifas nocturnas de electricidad, representa la estrategia más viable en múltiples ciudades de América Latina (Beltrán et al., 2021).

Existen principalmente dos tipos de cargadores:

- Cargadores lentos o convencionales (AC): son preferidos para cargas nocturnas en patios, debido a su menor costo, mayor vida útil de las baterías y uso de tarifas eléctricas reducidas.
- Cargadores rápidos (DC): adecuados para situaciones de emergencia o recargas intermedias, requieren mayor potencia instalada y una red eléctrica robusta.

Según el BID, cada patio debería contar con una subestación eléctrica de media tensión, sistemas de monitoreo, protocolos de seguridad eléctrica y al menos un cargador de respaldo. Los cargadores deben contar con protocolos de comunicación abiertos como OCPP y compatibilidad con conectores como CCS-2 o GB/T, garantizando la interoperabilidad entre buses de distintos fabricantes (Castillo et al., 2021).

En Manizales, el Plan Maestro de Movilidad (2017) y el diseño del SETP contemplan la construcción de patios y talleres estratégicamente ubicados. Uno de los patios propuestos, como el ubicado en Villa Pilar, podría albergar cargadores eléctricos tipo lento de 60 kW o rápida 150 Kw, capaces de atender hasta los 9 buses eléctricos, con un esquema de carga nocturna distribuida en 6 a 8 horas. Este patio corresponde al que se considera ideal en la ruta piloto propuesta (Villa Pilar – Minitas), lo cual permite una operación eficiente sin grandes desplazamientos en vacío.

La ubicación tentativa de los puntos de carga debe responder a lo definido en el POT (2017), como Villa Pilar o Cábmulos. Por tanto, la infraestructura de carga en Manizales debe diseñarse como un ecosistema escalable, interoperable y eficiente.

7.6. Tipos de vehículos eléctricos

En el contexto de Manizales, la propuesta de la ruta piloto con buses eléctricas tipo busetón se fundamenta en la equivalencia funcional y operativa entre las tipología de los buses Diesel existentes y los que actualmente operan en la ciudad de Bogotá, toda vez que estos han demostrado satisfacer las necesidades topográficas y de eficiencia. La propuesta contempla buses tipo busetón, con las siguientes características técnicas promedio:

- Capacidad: 50 pasajeros
- Autonomía estimada: 250 km por carga.
- Pendiente máxima operativa: hasta 22 %



8. Alternativas Tecnológicas y Modelos Operativos

Según el estudio 'Proyectos de Buses Eléctricos en América Latina' publicado en 2023 por C40 Cities, Manizales ha sido identificada como una de las ciudades colombianas con potencial interesante para la electrificación del transporte público. La ciudad proyecta incorporar un total de 350 buses eléctricos para el año 2030, con la meta de alcanzar los 600 para 2035.

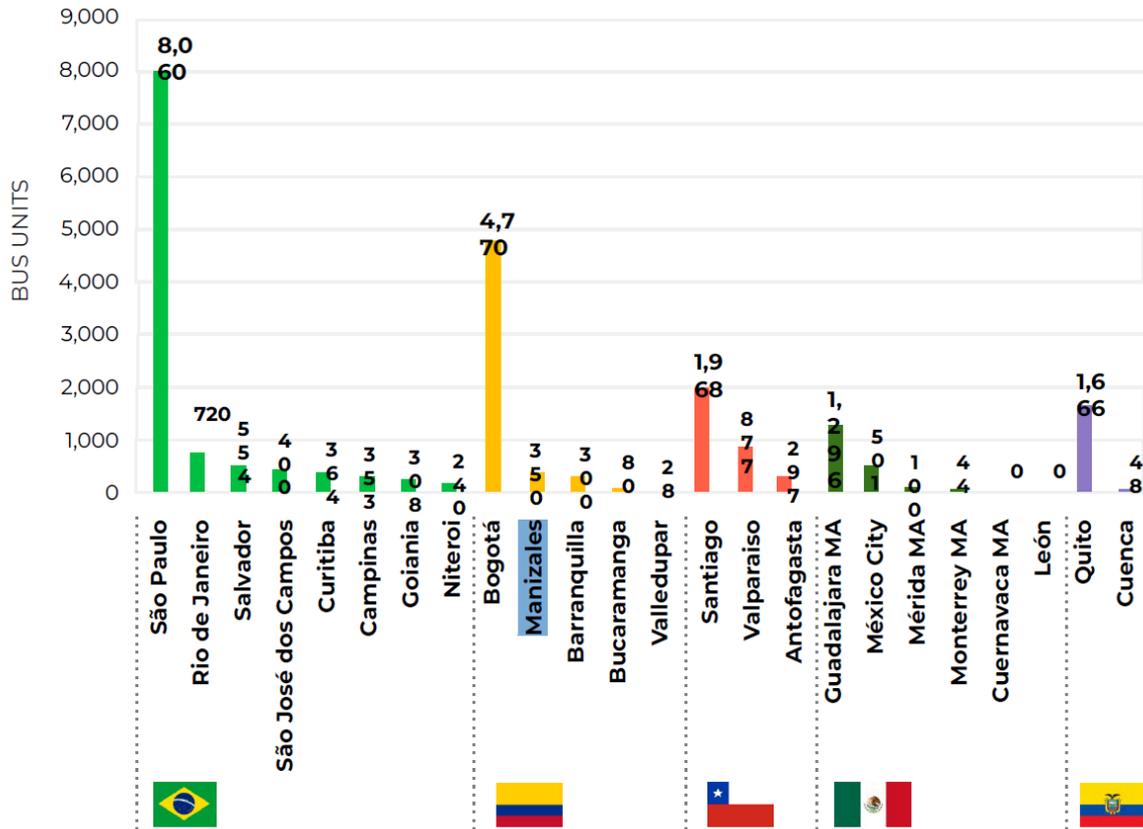
Actualmente no hay presencia de buses eléctricos, híbridos ni de hidrógeno en la ciudad. La mayoría de la flota opera con diésel. Se han realizado pruebas piloto para validar la tecnología y su implementación en el contexto local.²

Se propone incorporar buses eléctricos considerando la topografía accidentada de la ciudad. Para ello, se sugiere infraestructura de carga que incluya cargadores rápidos en patios identificados.

² Los resultados de las pruebas piloto no se encuentran disponibles en las fuentes públicas consultadas, por lo que no fue posible incluir una evaluación detallada considerando sus resultados específicos.



Ilustración 11: Proyectos de Buses Eléctricos en América Latina



Fuente: C40 Cities. (2023). Proyectos de Buses Eléctricos en América Latina: Panorama de 32 ciudades

8.1. Modelos de operación para Buses Eléctricos en Manizales

Dado el tamaño de flota eléctrica previsto para Manizales y su objetivo de implementar una ruta piloto de 9 buses, el modelo de separación entre provisión y operación representa la opción más estratégica. Este modelo permite que un proveedor especializado sea responsable de la adquisición y mantenimiento de la flota e infraestructura, mientras que un operador local presta el servicio de transporte.

Este enfoque disminuye los riesgos financieros y tecnológicos para los operadores actuales del transporte colectivo de la ciudad, facilita el acceso a fondos climáticos o de cooperación internacional, y permite escalar el sistema sin modificar la estructura contractual.

También se considera viable el modelo de arrendamiento operativo o leasing financiero, especialmente en fases de crecimiento. Este modelo, acompañado de garantías públicas



o líneas de crédito blandas, permite a los operadores locales acceder a buses eléctricos sin incurrir en costos iniciales elevados.

En casos donde se busque control total o mayor visibilidad institucional, se podría considerar un esquema de operación pública directa, como lo ha hecho Medellín en etapas iniciales. Sin embargo, este requiere fortalecimiento institucional y capacidades técnicas específicas.

Finalmente, el modelo tradicional en el cual el operador privado es dueño y gestor total de los buses eléctricos no se considera adecuado en este contexto, debido a los altos costos iniciales y la complejidad tecnológica que implica esta transición.

Adicionalmente, se puede explorar una modalidad híbrida donde la responsabilidad de adquisición y operación de la flota eléctrica recaiga directamente en los operadores privados existentes de transporte público en Manizales. Bajo este esquema, los 9 vehículos eléctricos requeridos para la ruta piloto serían distribuidos proporcionalmente entre las empresas actualmente operadoras, con base en su participación en el sistema (pasajeros transportados o kilómetros recorridos en zonas de influencia directa sobre el trazado de la ruta Villa Pilar – Minitas).

Este modelo permitiría aprovechar la experiencia local y generar corresponsabilidad en el proceso de transición tecnológica, promoviendo además una implementación más consensuada del piloto. Podría articularse con incentivos operativos, acceso a líneas de crédito blandas o condiciones especiales para la reposición de flota en el marco del SETP.

Aunque conserva elementos del modelo tradicional privado, esta variante requiere una figura coordinadora pública (por ejemplo, Secretaría de Movilidad o FIDUCIA) que centralice aspectos técnicos, tarifarios, de monitoreo y garantías de calidad. Su éxito dependerá de acuerdos interempresariales sólidos y del acompañamiento institucional permanente.

Tabla 5: Resumen modelos operacionales

Modelo	Flota	Provisión flota	O&m flota	Supervisión y control	Respaldo financiero	Esquema remuneración	Ejemplos
1.Integrado verticalmente	Mayor a 100.	Privado vía concesión.	Privado vía concesión.	Público define rutas, servicios y flota en licitación/concesión.	Fiducia pública. (Recaudo Pasajeros + Respaldo Ciudad)	Tarifa kilómetro y/o pasajero.	Metrobus, México

Modelo	Flota	Provisión flota	O&m flota	Supervisión y control	Respaldo financiero	Esquema remuneración	Ejemplos
2.Responsabilidades divididas	Mayor a 100.	Privado o público vía concesión.	Privado vía concesión o público vía cto interadministrativo concesión.	Público define rutas, servicios y flota en licitación/concesión.	Fiducia pública. (Recaudo Pasajeros + Respaldo Ciudad)	Tarifa kilómetro, pasajero, vehículo disponible e infraestructura.	Transmilenio, Bogotá Ciudades Colombianas con transporte conecionado.
3.Empresa privada formal servicio tradicional	Entre 50-100.	Privado.	Privado.	Público define rutas y tarifa vía concesión o permisos de operación.	Otras garantías o a veces presupuesto Ciudad.	Tarifa pasajero.	Transporte Público convencional, (TPC) Ciudades de Colombia, excepto Bogotá
4.Empresa informal Servicio tradicional	Menor a 10.	Privado.	Privado.	Público define rutas y tarifa vía contrato o permisos de operación.	Ninguno.	Tarifa pasajero.	Transporte Público convencional, (TPC) Ciudades de Colombia.
5.Dirigido por Público	Entre 50-100	Público.	Público.	Público.	Fiducia pública. (Recaudo Pasajeros + Respaldo Ciudad)	Tarifa pasajero o kilómetro.	Metro de Medellín, Medellín

Fuente: Elaboración propia a partir de Dalberg, ICCT, & C40 Cities. (2020).

Tabla 6: Modelos de operación estratégicos para Manizales

Modelo de operación	Características clave	Aplicabilidad a Manizales	Recomendaciones
1.Integrado verticalmente	Un operador gestiona la provisión, operación y mantenimiento de flota eléctrica.	No recomendado para flotas pequeñas como la de Manizales.	Viable a largo plazo si se proyecta una flota de más de 100 buses.
2.Separación de provisión y operación (modelo dual)	Un proveedor suministra flota e infraestructura; un operador distinto presta el servicio.	Altamente recomendado. Reduce riesgos y facilita la inversión externa.	Ideal para pilotos. Implementado con éxito en Bogotá.

Modelo de operación	Características clave	Aplicabilidad a Manizales	Recomendaciones
3. Operación pública total	La administración pública adquiere y opera directamente la flota eléctrica.	Viable con respaldo presupuestal y capacidades técnicas institucionales.	Útil para fase piloto o si se requiere control directo.
4. Arrendamiento operativo o leasing financiero	La flota se arrienda a largo plazo. Incluye mantenimiento y respaldo financiero.	Factible para flotas entre 8–20 buses. Reduce la necesidad de inversión inicial.	Recomendado con apoyo de entidades como bancos públicos o agencias multilaterales.
5. Empresa privada tradicional	El operador es dueño de los buses y asume todos los riesgos.	Medianamente recomendable para buses eléctricos. Podría funcionar para una prueba piloto y luego evolucionar a un esquema provisión y operación	Debe migrar hacia modelos estructurados y con respaldo institucional.

Fuente: Elaboración propia a partir de Dalberg, ICCT, & C40 Cities. (2020).

8.2. Estimación referencial de inversión inicial (CAPEX)

Se realizó una estimación preliminar de la inversión inicial requerida para la implementación de la ruta piloto de transporte público eléctrico propuesta para Manizales. Aunque no se dispone de un estudio financiero detallado, se han recopilado datos secundarios de experiencias comparadas y literatura especializada para proyectar rangos de inversión en ítems clave como flota, infraestructura de carga, adecuación de patios y equipamiento tecnológico.³

Tipo de análisis: estimación referencial para un piloto urbano de 9 buses eléctricos.

Fuentes: referencias de BID, C40 Cities, PNUMA, Enel X, entre otros, y proyectos pilotos en ciudades como Bogotá, Santiago, Medellín y Montevideo.

Criterios: precios promedio ajustados a contextos de ciudades intermedias, topografía compleja y rutas de hasta 13 km.

Adaptación local: se toma como base el trazado Villa Pilar – Minitas, con el patio de Socobuses como electro terminal potencial.

³ Nota: Será necesario desarrollar un estudio detallado que identifique con mayor precisión los costos asociados a la puesta en operación de la ruta piloto, dado que los precios varían año a año.

Tabla 7: Estimación referencial inversión inicial

Ítem	Unidad	Costo unitario estimado (USD)	Total, estimado (USD)	Fuente y método
Buses eléctricos (9 uds)	Bus tipo busetón (12 m)	350.000 – 400.000	3,15 – 3,6 millones	BID-TN-2307 (Beltrán et al., 2021); promedio AL
Cargadores rápidos (2 uds)	Cargador DC 150kW	60.000 – 90.000	120.000 – 180.000	C40 Cities (2023); proyectos Bogotá/Santiago
Infraestructura patio	Unidad adaptada	250.000 – 400.000	~300.000	BID, reconversión patios existentes
Adecuación ruta y paraderos	6–8 PEP señalizados	–	100.000	Supuesto técnico sobre señalización e infraestructura básica
Sistemas tecnológicos (ITS)	Monitoreo, recaudo piloto	80.000 – 100.000	90.000	Enel X y Steer Davies Gleave (SETP Bogotá)
Total estimado CAPEX	–	–	3,76 – 4,27 millones	–

Fuente: Elaboración propia

9. Estrategias de implementación

Aunque Manizales cuenta con un diseño técnico y normativo del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), a la fecha no se tiene claridad sobre el cronograma oficial para su implementación, dado que aún no se han cumplido los requisitos exigidos por el Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para acceder a los recursos de cofinanciación nacional. Esta situación limita el avance estructural del sistema.

En este contexto, la presente propuesta de ruta piloto eléctrica no depende directamente de la ejecución plena del SETP, sino que se plantea como una estrategia paralela y complementaria, que busca acelerar la transición hacia una movilidad más limpia, moderna y eficiente. Esta ruta piloto puede actuar como un proyecto demostrativo de alta visibilidad, generando aprendizajes, fortaleciendo capacidades institucionales y posicionando a Manizales como una ciudad líder en innovación en transporte público.

Además, la experiencia piloto puede anticipar elementos clave del SETP como la operación intermodal, la infraestructura de patios, el recaudo centralizado y los



esquemas de electrificación de flota, facilitando su posterior incorporación al sistema una vez se consolide el proceso de cofinanciación nacional.

9.1. Fases

Fase 1 – Piloto (Año 1–Año 2): Villa Pilar – Fundadores – Av. Santander (tramo centro)

Acciones clave:

- Habilitación del patio Socobuses como electro terminal con cargadores de 150 kW.
- Adquisición e ingreso de 9 buses eléctricos tipo busetón.
- Adecuación de paraderos con señalización diferenciada y accesibilidad universal.
- Integración física con estación Fundadores del cable aéreo.
- Capacitación de conductores y técnicos.
- Monitoreo de desempeño (consumo, autonomía, carga, percepción del usuario).

Fase 2 – Expansión (Año 2–Año 3): Extensión a La Cumbre y Minitas

- Extensión del recorrido hasta barrios con alta densidad residencial y buen estado vial.
- Evaluación de nuevos puntos de recarga (por ejemplo, Cámbulos).
- Revisión de flota necesaria (posible aumento de unidades).
- Fortalecimiento de frecuencia, turnos y programación.
- Divulgación comunitaria y posicionamiento como corredor verde.
- Diseño sistema recaudo que permita integración del transporte

Fase 3 – Integración plena (Año 3+): Articulación tarifaria con sistema de cable, bicicletas y SETP completo

- Implementación de un sistema de recaudo unificado o interoperable (pagos abiertos)
- Conexión directa con las estaciones Cámbulos y Villamaría del cable.
- Articulación con el sistema de bicicletas públicas y ciclo infraestructura.
- Inclusión formal en el marco tarifario y operacional del SETP.
- Documentación del modelo como referencia nacional e internacional.

10. Resumen estratégico para tomadores de decisión

La implementación de la primera ruta de buses eléctricos en Manizales, integrada al sistema de cables aéreos, deberá garantizar un transporte con tecnología limpia, operación silenciosa, accesibilidad universal y alto impacto social y ambiental. Esta ruta servirá como piloto para validar en campo la viabilidad de la electrificación del transporte público en la ciudad.



¿Por qué es estratégica para Manizales?

- **Alta visibilidad:** conecta zonas clave como Villa Pilar, Fundadores, Av. Santander, La Cumbre y Minitas.
- **Multimodalidad eléctrica:** se integra a las tres líneas de cable aéreo (todas 100 % eléctricas), formando el primer circuito de transporte urbano completamente eléctrico de Colombia y América Latina.
- **Turismo, salud y educación:** atraviesa hospitales, universidades, centros comerciales y zonas residenciales densas.

Impactos esperados

Tabla 8: Resumen beneficios e impactos esperados

Indicador	Resultado estimado	Método de estimación y fuente
Reducción de CO ₂ (anual)	~180–200 toneladas	Referencias BID (2023), Bogotá y Santiago: ~20–25 ton CO ₂ /bus/
Reducción de PM2.5 y PM10 (local)	>50 % en corredor piloto	Basado en la proporción de emisiones de buses diésel según Unal & Corpocaldas (2022) y OMS.
Empleos generados (directos e indirectos)	+30 (operación, mantenimiento, tecnología)	Estimación según estudios de C40 Cities (2023) y BID para operación piloto: conductores, técnicos, mantenimiento, tecnología
Disminución de ruido urbano	hasta -7 dB (percepción = 50 % menos ruido)	Reducción promedio medida en pilotos BID y OMS para flotas eléctricas (Enel X, 2022).

Fuente: Elaboración propia

¿Cuánto cuesta? ¿Es viable?

- **Inversión estimada:** USD 3,76 – 4,27 millones (buses, cargadores, adecuación de patio y ruta).
- **Monto escalable,** gestionable vía esquemas de cooperación internacional (bancos de desarrollo e instituciones internacionales), financiación climática o leasing público-privado.
- **Alto retorno** social, ambiental y reputacional.

¿Por qué ahora?

La propuesta de implementación de una ruta piloto de buses eléctricos en Manizales no solo representa un avance técnico para la ciudad, sino que también la posiciona estratégicamente en el contexto nacional como un laboratorio de innovación para la transición energética en territorios con topografías complejas. A diferencia de muchas



otras ciudades colombianas, Manizales ya cuenta con infraestructura eléctrica en operación (como el sistema de cable aéreo), y un Plan de Acción Climática 2050 que establece metas ambiciosas de reducción de emisiones, con una proyección de carbono neutralidad al 2050.

En línea con los compromisos de Colombia en sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, que impulsa la electrificación del transporte como una herramienta clave para alcanzar el 51% de reducción de GEI al 2030, Manizales ofrece condiciones ideales para pilotar soluciones tecnológicas y operativas de movilidad eléctrica urbana. Su geografía montañosa representa un desafío técnico que, una vez superado mediante esta experiencia, permitirá generar evidencia y modelos replicables para otras ciudades intermedias andinas o con pendientes pronunciadas.

11. Conclusiones

La propuesta de implementación de una ruta piloto eléctrica en Manizales constituye un ejercicio técnico preliminar que permite visualizar con claridad una alternativa viable de movilidad eléctrica para la ciudad, en línea con los objetivos climáticos locales y nacionales. Esta propuesta no equivale a una estructuración técnica, legal ni financiera del proyecto. Su objetivo es presentar una base orientadora, fundamentada en análisis operativos, recorridos de campo y criterios de planificación, que sirva como insumo para su evaluación y discusión por parte de los actores institucionales.

Para su futura implementación, será necesario avanzar en estudios de detalle que incluyan modelación financiera, estructuración legal, diseños de ingeniería y análisis de factibilidad técnica completos. Solo a partir de estos desarrollos será posible definir con precisión los requerimientos finales de flota, infraestructura de carga, esquema de operación y mecanismos de financiación.

La ciudad cuenta con un marco de planificación robusto (POT, PMM, y Plan de Acción Climática) que reconoce la urgencia de reducir emisiones del sector transporte y migrar hacia tecnologías limpias.

Desde la dimensión operativa, la ruta definida entre Villa Pilar y Minitas presenta condiciones óptimas: longitud adecuada, integración modal con el sistema de cables, acceso a patios de recarga y conectividad con polos de atracción de viajes. El dimensionamiento de flota y cargadores ha sido validado técnicamente, asegurando la viabilidad energética y operativa de la propuesta.

En el contexto latinoamericano, experiencias como las de Bogotá, Santiago y Cali demuestran que es posible superar barreras técnicas, financieras y de gestión mediante



pilotos controlados, formación de personal, estándares interoperables y cooperación internacional. Manizales puede beneficiarse de estas lecciones para escalar su modelo de forma progresiva y servir como ejemplo para otras ciudades intermedias con condiciones topográficas similares, que enfrentan retos de calidad del aire, fragmentación modal o rezago tecnológico en sus sistemas de transporte público. La experiencia de Manizales puede aportar evidencia práctica sobre la viabilidad operativa, los beneficios ambientales y las estrategias de implementación más efectivas en contextos urbanos complejos.

Si bien aún no se cuenta con un respaldo institucional formal y consolidado, la articulación técnica alcanzada hasta ahora, el compromiso progresivo de la ciudad con la descarbonización, y la participación de actores estratégicos como ICLEI y TUMI, configuran un ecosistema propicio para avanzar hacia la consolidación de la electromovilidad como una política pública de largo plazo en Manizales.

Es importante señalar que, a la fecha, el cronograma de implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP) aún no ha sido definido de manera oficial, dado que el municipio no ha cumplido con los requisitos técnicos y financieros ante el Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación para acceder a los recursos de cofinanciación nacional. En este contexto, esta ruta piloto eléctrica adquiere un valor estratégico adicional: puede actuar como un catalizador que acelere la ejecución futura del SETP, al generar evidencia técnica, operativa y social sobre los beneficios de la transición hacia un sistema de transporte moderno, intermodal y limpio.

La propuesta no es una intervención aislada, sino un primer paso hacia un sistema de transporte público más eficiente, limpio y justo, con impactos positivos en salud pública, equidad social, economía urbana y cambio climático.

Adicionalmente, es fundamental destacar el rol estratégico que cumple el sistema de cables aéreos de Manizales como parte del ecosistema de transporte eléctrico. Este sistema, ya consolidado y en expansión, representa una ventaja comparativa frente a otras ciudades del país y de América Latina. La integración de una ruta de buses eléctricos con las tres líneas de cable (dos en operación y una en construcción) permitiría consolidar un circuito 100 % eléctrico en el transporte público de la ciudad.

Este circuito intermodal, que conectaría buses eléctricos con estaciones de cable aéreo en puntos clave como Fundadores, Cámbulos y Villamaría, no solo mejoraría la eficiencia del sistema, sino que **posicionaría a Manizales como la primera ciudad del mundo en articular tres líneas de cable aéreo con una ruta eléctrica terrestre de forma sistemática.**

Esta condición única convertiría a Manizales en un referente global, tanto para ciudades que implementan flotas de buses eléctricos como para aquellas que ya cuentan con



sistemas de cables. Además, esta innovación cobra especial relevancia al considerar que Manizales es una ciudad de vocación turística nacional e internacional. Contar con un sistema de transporte 100 % eléctrico, silencioso, limpio y conectado con zonas de alto valor paisajístico, institucional y cultural, fortalecería la experiencia del visitante y la proyección sostenible de la ciudad.

12. Recomendaciones

Tabla 9: Recomendaciones y acciones

Recomendación Acciones	Acciones
Establecer un marco institucional y operativo sólido	<ul style="list-style-type: none"> Conformar una mesa técnica interinstitucional liderada por la Secretaría de Movilidad, con participación de Planeación, Empresas Operadoras, Universidad Nacional de Colombia, ICLEI y actores estratégicos. Asegurar la designación oficial de la ruta piloto en el marco del SETP y el Plan de Acción Climática 2050.
Consolidar la infraestructura técnica básica	<ul style="list-style-type: none"> Adecuar el patio de Socobuses en Villa Pilar como electroterminal, instalando cargadores lentos (60 kW) y rápidos (150 kW) para atender hasta 9 buses eléctricos. Garantizar la interconexión eléctrica en media tensión, sistemas de gestión energética y protocolos interoperables (OCP, CCS2). Implementar un sistema de monitoreo de flota y consumo energético desde la etapa piloto.
Adquirir e integrar la flota eléctrica piloto	<ul style="list-style-type: none"> Definir el tipo de vehículo eléctrico (busetón de 50 pasajeros) y adquirir 9 unidades bajo criterios de eficiencia, accesibilidad universal y compatibilidad con infraestructura de carga. Establecer un modelo de operación mixto que combine provisión privada de flota y gestión pública del sistema.
Diseñar el plan operativo de ruta y servicios	<ul style="list-style-type: none"> Establecer los parámetros de frecuencia (6 minutos), tiempos de recorrido (44 minutos), turnos operativos y estrategia de reserva. Conectar la ruta con las tres líneas de cable aéreo (Fundadores, Cábulo, Villamaría) generando un circuito eléctrico único en el mundo. Garantizar paraderos accesibles, señalización diferenciada y espacios intermodales con bicicletas públicas.
Comunicar, sensibilizar y capacitar	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar una estrategia de comunicación pública destacando los beneficios del corredor eléctrico, su valor turístico y ambiental. Implementar un plan de formación para conductores, mecánicos y personal técnico, en alianza con instituciones educativas locales. Fomentar una experiencia de usuario amigable, con información clara sobre accesos, frecuencias y tiempos.
Asegurar sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar un esquema financiero con respaldo público, cofinanciación climática y cooperación internacional (por ejemplo: bancos de desarrollo e instituciones de apoyo como ICLEI).



financiera y escalar progresivamente	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar estudios de costo-beneficio y TIR social para justificar la expansión del modelo. • Establecer un plan de escalamiento por fases, priorizando rutas que complementen los corredores eléctricos y nodos logísticos de Manizales.
Convertir la propuesta en un modelo de referencia global	<ul style="list-style-type: none"> • Documentar y socializar los resultados del piloto como experiencia replicable en ciudades con sistemas de cables y condiciones topográficas similares. • Promover la proyección turística del corredor eléctrico, resaltando a Manizales como la primera ciudad en el mundo con integración plena de buses eléctricos y tres líneas de cable aéreo.

Fuente: Elaboración propia

13. Anexos

Anexo 1_Informe visita campo Manizales 05.02.25

Anexo 2_Dimensionamiento buses y cargadores

14. Referencias

Alcaldía de Manizales. (2017). Plan de Ordenamiento Territorial 2017–2031. <https://manizales.gov.co/pot>

Alcaldía de Manizales. (2022). Manizales adoptó mediante acto administrativo el Plan Manizales por la Acción Climática 2050. Centro de Información Municipal. <https://centrodeinformacion.manizales.gov.co/manizales-adopto-mediante-acto-administrativo-el-plan-manizales-por-la-accion-climatica-2050/>

Alcaldía de Manizales. (2024). Plan de desarrollo municipal 2024–2027: Documento resumen. <https://www.manizales.gov.co>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). Electromovilidad: transporte más limpio, seguro y eficiente. Blog Energía BID. <https://blogs.iadb.org/energia/es/electromovilidad-transporte-mas-limpio-seguro-y-eficiente/>

Beltrán, O. M., Lefevre, B. J. M., & Mojica, C. H. (2021). Lecciones aprendidas en la implementación de modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos en Latinoamérica y el Caribe (Nota Técnica BID-TN-2307). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Lecciones-aprendidas-en->



[la-implementacion-de-modelos-de-negocio-para-la-masificacion-de-buses-electricos-en-Latinoamerica-y-el-Caribe.pdf](#)

C40 Cities. (2023). Proyectos de Buses Eléctricos en América Latina: Panorama de 32 ciudades. Centro para la Sostenibilidad Urbana, Clean Transport Finance Academy & ICCT.

Castillo, M., Galarza, S., Concha Rivera, J., García, F., Lefèvre, B., Camós, G., Bertossi, F., & Cruz, P. (2021). Desafíos operacionales y soluciones a la integración de buses eléctricos: lecciones de Cali, Colombia (Nota Técnica IDB-TN-2294). Banco Interamericano de Desarrollo.

Consortio SETP Manizales. (2020). Diagnóstico del Transporte Público Colectivo en el área de influencia del SETP Manizales-Villamaría.

Correa, C., & Di Chiara, L. (2020). Beneficios de la electrificación: Estudio del caso del transporte colectivo eléctrico en Uruguay (Nota Técnica IDB-TN-1958). Banco Interamericano de Desarrollo.

Dalberg, ICCT, & C40 Cities. (2020). Accelerating a market transition in Latin America: New business models for electric bus deployment. Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator (ZEBRA), P4G – Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). Pobreza Monetaria y Multidimensional en Colombia. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2021/Boletin-pobreza-monetaria_21.pdf

Edwards, G., Viscidi, L., & Mojica, C. (2018). Cargando el futuro: El crecimiento de los mercados de autos y buses eléctricos en las ciudades de América Latina. Diálogo Interamericano.

Enel X. (s.f.). ¿Qué es un autobús eléctrico? <https://corporate.enelx.com/>

FINDETER, Unión Temporal Durán & Osorio - Deloitte - Transconsult. (2020). Estructuración técnica, legal, financiera y social (ETLFS) del Sistema Estratégico de Transporte Público de pasajeros (SETP) para el municipio de Manizales: Tomo 2. Informe de diagnóstico y línea base del sistema de transporte público colectivo (Versión 6.0). FINDETER.

ICLEI. (2018). Manizales EcoLogistics City Profile. ICLEI – Local Governments for Sustainability.



https://sustainablemobility.iclei.org/wp-content/uploads/2019/06/Manizales_EcoLogistics_City_Profile2018-web.pdf

ICLEI. (2025). Manizales TUMI City Profile. ICLEI – Local Governments for Sustainability. <https://sustainablemobility.iclei.org/wpdm-package/tumi-e-bus-mission-city-profiles-manizales-colombia/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Resolución 0627 de 2006: Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Bogotá D.C.

Montoya, Jorge A., Escobar, Diego A., & Moncada, Carlos A.. (2023). Test de la variabilidad en las condiciones de accesibilidad urbana ofrecida por el sistema de transporte público en Manizales (Colombia). *Información tecnológica*, 34(2), 99-110. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642023000200099>

Municipio de Manizales, CORPOCALDAS, & SOLTAS. (2019). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero del municipio de Manizales: Año base 2018*. Alcaldía de Manizales.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int>

PNUMA. (2022). *Sistemas de transporte público de buses eléctricos en América Latina y el Caribe: Reporte de estado del arte y conceptos básicos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Programa Manizales Cómo Vamos. (2018). Informe de calidad de vida.

Secretaría de Movilidad de Manizales. (2023). Datos de flota y planificación del transporte público eléctrico. Incluido en el estudio regional de movilidad eléctrica de C40 Cities.

Steer Davies Gleave. (2017). Plan Maestro de Movilidad de Manizales. Gaceta del Concejo de Manizales. <http://concejodemanizales.gov.co/wp-content/uploads/2018/06/GACETA-188-DE-2018-PLAN-MAESTRO-DE-MOVILIDAD-DEFINITIVA.pdf>

Unal & Corpocaldas. (2019a). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en la ciudad de Manizales año base 2017. <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>



Unal & Corpocaldas. (2022). Boletín de Calidad del Aire de Manizales 2022. Instituto de Estudios Ambientales - Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y Corpocaldas.

Younes, Camilo & Escobar, Diego & Holguin, Juan. (2016). Equidad, Accesibilidad y Transporte. Aplicación explicativa mediante un Análisis de Accesibilidad al Sector Universitario de Manizales (Colombia). Información tecnológica. 27. 107-118. 10.4067/S0718-07642016000300010.

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia*. https://www.minenergia.gov.co/documents/5861/Hoja_Ruta_Hidrogeno_Colombia_2810.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME & Steer. (2020). *Informe final: Ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones* (Contrato de consultoría 041 de 2020).

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_final_Ascenso_tecnologico.pdf

